

El Compás Satelitario y propuesta de un prototipo de bajo coste

TFC Licenciatura en Navegación y Transporte marítimo de la FNB.

Autor: Ernesto Martínez de Carvajal Hedrich

- Diplomado en Navegación y Transporte Marítimo.
- Técnico Superior en Navegación, Pesca y Transporte Marítimo.
- Técnico Superior Informático.
- Piloto de segunda de la Marina Mercante.
- Patrón de Altura de la Marina Mercante.
- Comisario de Averías.

Índice

1.- Introducción	3
2.- Evolución de los equipos de medición de rumbo	4
2.1.- Qué es el rumbo	4
2.2.- Equipos de medición del rumbo	7
2.2.1.- El compás magnético	8
2.2.2.- Bitácora	15
2.2.2.- El girocompás	16
2.2.3.- El GPS	19
2.2.4.- El Compás fluxgate	27
2.2.5.- El compás satelitario	30
2.2.6.- Progresión tecnológica	30
3.- El compás satelitario	34
3.1.- Componentes.....	37
3.1.1.- La antena.....	38
3.1.2.- El receptor de la señal de corrección diferencial.....	39
3.1.3.- El procesador	41
3.1.4.- La unidad de visualización	41
4.- Construcción de un prototipo de bajo coste.....	49
4.1.- CPU de LEGO	53
4.2.- Sensores dGPS de Dexter Industries.....	54
4.3.- Piezas varias de LEGO	58
4.4.- El programa.....	59
5.- Costes	62
6.- Conclusiones.....	65
7 Anexos.	67
7.1.- Folleto del girocompás GC85 de Simrad	67
7.2.- Folleto del compas satelitario SC-110 de Furuno.....	69
8.- Fuentes de información	74

1.- Introducción

Este trabajo de fin de carrera de los estudios de Licenciatura en Náutica y Transporte marítimo versa sobre un dispositivo de medición de rumbo de reciente aparición denominado Compás Satelitario. Como veremos a lo largo del mismo, la tecnología utilizada por este dispositivo – el GPS- en modo alguno puede considerarse novedosa, aunque sí lo es el uso que se le ha dado. Por ese motivo, considero mucho más apropiada su denominación inglesa: GPS Compass.

El trabajo consta de los siguientes apartados:

- Introducción
- Evolución de los equipos de medición de rumbo
- El compás satelitario
- Construcción de un prototipo de bajo coste
- Conclusiones
- Fuentes de información

2.- Evolución de los equipos de medición de rumbo

2.1.- Qué es el rumbo

Empezaremos por definir lo que se entiende por rumbo, obviamente dentro del mundo de la náutica. Sería absurdo pretender inventar una nueva definición para un concepto tan conocido por los navegantes, por lo que reproducimos lo que puede encontrarse en cualquier libro de náutica:

En navegación se define el rumbo como el ángulo medido en el plano horizontal entre el norte y la dirección de avance del barco, medido en círculo, es decir, de 0º a 360º.

El rumbo se expresa siempre con tres dígitos y, si es necesario, se añaden ceros a la izquierda. Así, al decir "rumbo 028º" se evitan errores de interpretación, evitando la confusión con rumbo 128º o 228º.

Anteriormente el rumbo se expresaba "en cuadrantal", por referencia a un cuadrante de la rosa náutica: "rumbo S 30º E" significa 30 grados hacia el este contados desde el sur, lo que equivale a rumbo circular 150º. Hoy en día este formato no es el utilizado habitualmente en la marina mercante.

En la propia definición se incluye un concepto que requiere un breve análisis puesto que, como veremos, de él se derivan diferentes tipos de rumbo. Nos referimos al "Norte", el cual también encontramos profusamente definido en libros de navegación:

El norte es el punto cardinal que indica, sobre un meridiano, la dirección al Polo Norte.

Se trata, por lo tanto, de uno de los cuatro puntos cardinales, y está situado diametralmente opuesto al Polo Sur. En el hemisferio norte, se corresponde con el punto del horizonte cuya perpendicular pasa aproximadamente por la Estrella Polar.

No obstante, el primer elemento utilizado para medir rumbos fue el compás o aguja magnética, la cual se orienta hacia el norte magnético, que no tiene porqué coincidir con el polo norte, motivo por el cual ya tenemos dos posibles adjetivos para este Norte:

- **Norte verdadero**

Es el que se corresponde con el Polo Norte geográfico

- **Norte magnético**

Es la dirección que señala la aguja imantada de una brújula, que no tiene porqué coincidir con la del Polo Norte geográfico. Es diferente en cada zona del planeta y la diferencia entre el norte verdadero y este se conoce como declinación magnética. Por otro lado se ha de tener en cuenta que, dado que el campo magnético terrestre es generado por el núcleo de ferrita existente en el interior de la Tierra, y que dicho núcleo gira “libremente” con respecto a ella, el norte magnético varía su posición (aunque a efectos prácticos se considera que cambia cada año).

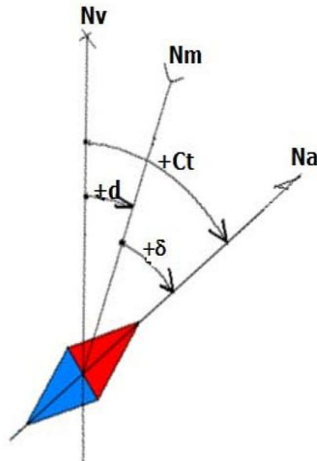


Por otro lado, el compás o aguja magnética instalada a bordo de un buque se encuentra afectado por los elementos metálicos del mismo, lo que genera un desvío que depende del rumbo del buque y que podemos conocer a través de la “tablilla de desvíos”. Esto genera un tercer posible adjetivo para el término Norte:

- **Norte de aguja**

Es la dirección que señala la aguja imantada de una brújula instalada a bordo de un buque y que no tiene porqué coincidir con el norte magnético.

Esta sería la representación gráfica de los tres tipos de norte que hemos comentado:



Así pues, dado que en la definición de rumbo nos referimos a “ángulo formado entre el norte y la dirección de avance”, nos aparecen nuevos conceptos en base que hagamos referencia al norte verdadero, magnético o de aguja:

- **Rumbo verdadero**

Es el ángulo formado entre el norte verdadero y la dirección del buque. Es el rumbo que podemos medir en las cartas o mediante equipos que no se vean afectados ni por la declinación magnética ni por el desvío de aguja.

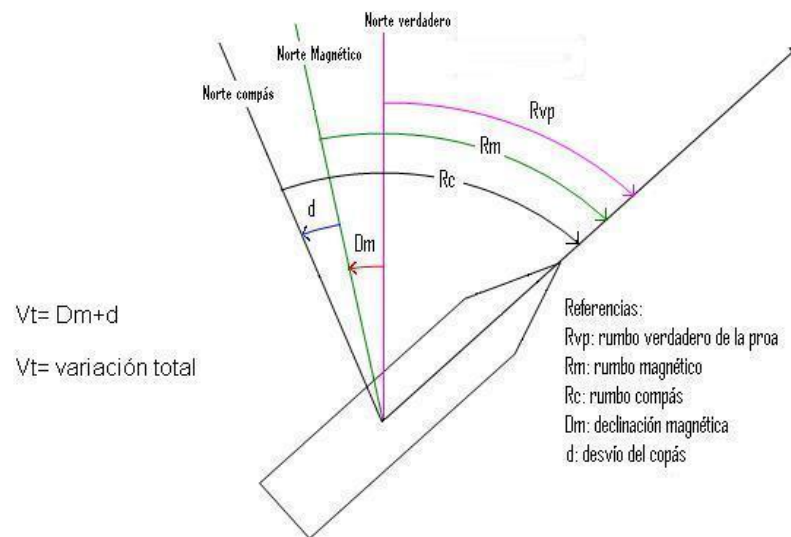
- **Rumbo magnético**

Es el ángulo formado entre el norte magnético y la dirección del buque.

- **Rumbo de aguja**

Es el ángulo formado entre el norte de aguja y la dirección del buque. Es el utilizado por el timonel cuando gobierna haciendo uso de la aguja.

Esta sería la representación gráfica de los tres tipos de rumbo:



Vamos a ver seguidamente los equipos utilizados para medir este rumbo y la evolución que han tenido.

2.2.- Equipos de medición del rumbo

Entre los diferentes equipos de medición de rumbo podemos citar:

- El compás magnético
- El girocompás
- El GPS
- El Compás fluxgate
- El compás satelitario



2.2.1.- El compás magnético

Un compás es el nombre genérico que recibe el instrumento empleado para determinar direcciones a bordo de un barco. Su funcionamiento se basa en la brújula, por lo que empezaremos por hablar de este elemento.

La brújula es un instrumento que sirve para orientarse en relación al norte y que tiene su fundamento en la propiedad de las agujas magnetizadas. Por medio de una aguja imantada señala el Norte magnético el cual, como ya vimos, es diferente para cada zona del planeta, y distinto del Norte geográfico. Utiliza como medio de funcionamiento el magnetismo terrestre. La aguja imantada indica la dirección del campo magnético terrestre, apuntando hacia los polos norte y sur.



Como veremos más adelante, a lo largo de la historia han ido surgiendo sistemas de navegación más avanzados y completos (GPS), que brindan más información y precisión; sin embargo, la brújula aún es muy popular en actividades que requieren alta movilidad o que impiden, debido a su naturaleza, el acceso a energía eléctrica, de la cual dependen los demás sistemas.

Antes de la creación de la brújula, la dirección en mar abierto se determinaba con la posición de los cuerpos celestes. Algunas veces la navegación se apoyaba con el uso de sondas para hacerse una idea de la proximidad de la costa. Las dificultades principales que se presentaban con el uso de estos métodos eran las aguas demasiado profundas para el uso de sondas, y que muchas veces el cielo estaba demasiado nublado, o el clima era muy neblinoso. La brújula se usaba principalmente para paliar estos

problemas, por lo que culturas que no los padecían adoptaron poco el uso de dicho instrumento. Tal es el caso de los árabes, que generalmente contaban con cielos despejados al navegar el Golfo Pérsico y el Océano Índico. Por su parte, los marineros del relativamente poco profundo Mar Báltico hicieron uso extensivo de las sondas. El astrolabio, antigua invención griega, también ayudaba en la navegación.

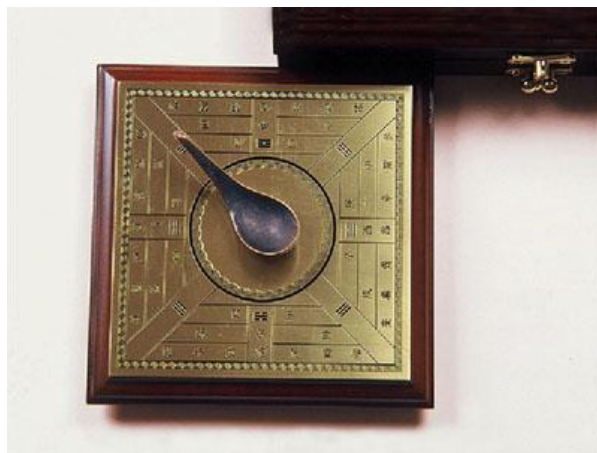
Se cree que la brújula fue inventada en China, aproximadamente en el siglo IX, e inicialmente consistía en una aguja imantada flotando en una vasija llena de agua.

Concretamente Joseph Needham atribuye la invención de la brújula a China en *Science and Civilization in China* (Ciencia y Civilización en China), pero debido a que existen desacuerdos en la fecha de aparición del artefacto, es apropiado considerar literatura antigua que hace referencia a su posible existencia.

La más antigua referencia al magnetismo en la literatura china se encuentra en un libro del siglo IV llamado "Libro del jefe del valle de los demonios" (hasta ahora - julio de 2009 d. C.- más conocido por su transcripción al inglés como: *Book of the Devil Valley Master*): "La magnetita hace que el hierro venga, o lo atrae.". También es habitual la expresión de que la "magnetita convoca al hierro".



La primera mención de la atracción magnética de una aguja se encuentra en un libro chino escrito entre los años 20 y 100 (Louen-heng): "Una magnetita atrae una aguja." En 1948, Wang Tchen-touo intentó construir una brújula en forma de cuchara que apuntaba hacia el sur, basándose en el texto. Sin embargo, apuntó que "no hay ninguna mención explícita de un magneto en el Louen-heng" y que "se deben asumir algunas hipótesis para poder llegar a alguna conclusión".



La primera referencia, un tanto discutida, a un dispositivo magnético usado como señalador de direcciones está en un libro de la Dinastía Song con fechas de 1040-44. Allí se encuentra una descripción de un "pez que señala al sur" en un tazón de agua,

que se alineaba a sí mismo hacia el sur. En el escrito, el objeto se recomienda como método de orientación en "la oscuridad de la noche". No hay, sin embargo, ninguna mención a su uso en navegación, ni de cómo el pez fue magnetizado. A este respecto mencionar que es posible construir una especie de brújula haciendo uso de una tortuga, dada la capacidad de esta de orientarse en el campo magnético terrestre.

La primera referencia indiscutible a una aguja magnetizada en escritos chinos aparece en 1086.7 El "Ensayo del tesoro de los sueños" escrito por Shen Kuo, de la dinastía Song, contenía una descripción detallada de cómo los geomantes magnetizaron una aguja frotando su punta con magnetita, y colgando la aguja magnética con una fibra de seda con un poco de cera pegada en el centro de la aguja. Shen Kuo señaló que una aguja preparada de este modo algunas veces apuntaba hacia el norte y otras hacia el sur.

Como curiosidad, mencionar que las antiguas brújulas chinas eran utilizadas en el marco conjunto de la magia y de la ciencia y la protociencia – la ciencia especulativa- por ejemplo la brújula magnética es un instrumento fundamental en la geomancia - método de adivinación que interpreta marcas en el suelo o cualquier patrón que se forme a partir de arrojar un puñado de piedras, arena o tierra- , y el feng shui; las brújulas chinas tradicionales para el feng shui en lugar de los puntos cardinales (N-E-S-W/Ó) suelen tener por marco los hexagramas binarios del I Ching, es decir tales brújulas chinas están en el centro del diagrama llamado Pa Kua y el punto cardinal que suelen utilizar de referencia es el Sur ya que para la tradición China el Norte era nefasto (por el frío se asociaba a la muerte) y por oposición el Sur era (como el Este) fasto o bienaventurado (de allí consideraban que venía el calor y con ello la vida).

Existe un gran debate acerca de qué ocurrió con la brújula tras su aparición en China y la forma con la que se propagó por el resto del mundo. Diferentes teorías incluyen:

- Viaje de la brújula desde China hasta el Medio Este a través de la Ruta de la Seda, y luego a Europa.



- Transferencia directa de la brújula de China a Europa, y luego de Europa al Medio Este.
- Creación independiente de la brújula en Europa, y luego paso de ésta al Medio Este.

Las dos últimas teorías se basan en evidencias de aparición de la brújula en trabajos europeos antes que en árabigos. La primera mención europea de una aguja magnetizada y su uso entre marineros ocurre en "De naturis rerum" (Las cosas naturales), de Alexander Neckam, probablemente escrito en París en 1190. Otra evidencia para esto incluye la palabra árabe para "brújula" (al-konbas), similar al kompass o compass de las lenguas germánicas, posiblemente derivada de la palabra italiana compasso, por la forma circular de la caja de la brújula.

En el mundo árabe, la más temprana referencia al dispositivo se encuentra en "El libro tesauro de los mercaderes" (conocido por su transcripción al inglés como: The Book of the Merchant's Treasure), escrito en árabe por Baylak al-Kibjaki en El Cairo en 1282.

غرب وأشكل . وأول ^{١٥} ما تبتدي به من العمل ^{١٥} أنك تعمل طاسة من فضة أو نحاس متوسطة القدر عريضة الشفة صحيحة بحيث تمشي المسطرة على شفتها مصطحبة على الاستواء كحجرة الأضرلاب . ثم تملأ الطاسة قارا أو شمعا يذاب ^{١٦} ويصب فيها حتى تمتلي ويصير مع مسحة الشفة سواء . ثم تأخذ صفيحة من نحاس وتوضع في وسط الطاسة تنزل ^{١٧} في القار أو في الشمع ويكون المركز فيها بعد تخط في وسط الطاسة ^{١٧} إلى شفتها الأخرى بالمسطرة خطا مستطيلا ، وهو خط الشمال والجنوب ، وخطا آخر بالعرض مستطيلا من شفة الطاسة إلى الشفة المقابلة لأول الخط ، ويسمى خط المشرق والمغرب . فحينئذ يتقاطع الخطان في وسط الصفيحة سواء فيكون مركز البيكاز في وسط التقاطع ، وتقسم عرض الشفة أربعة أقسام ، فتدير

Extraído del libro "TWO EARLY ARABIC SOURCES ON THE MAGNETIC COMPASS" de Petra G. Schmidl

Dado que el autor describe haber presenciado el uso de una brújula en un viaje en barco 40 años antes, algunos eruditos se inclinan a anteceder la posible fecha de aparición del objeto consecuentemente. También hay una mención musulmana a una brújula con forma de pez de hierro en un libro persa de 1232.

En Europa la brújula o compás magnético es oficialmente conocida desde el Renacimiento, inicialmente se creyó que obraba por brujería de allí su nombre más común que es un diminutivo de bruja; desde fines de la Edad Media y hasta aproximadamente mediados del siglo XIX se creyó que la aguja imantada apuntaba hacia el Polo Norte y se creía que esto ocurría porque -se suponía- existía en el Polo Norte una gigantesca montaña de hierro o de magnetita en medio de una isla (imaginaria) a la que se llamó Rupes Nigra. Lo más curioso es que, según parece, esta creencia supersticiosa logró una gran difusión a pesar de que apareció en un libro titulado "Inventio Fortunata" de autoría incierto, lo que demuestra que los bulos ya lograban en aquellos remotos años una gran notoriedad, aun careciendo de Internet.

La brújula seca fue inventada en Europa alrededor del año 1300. Este artilugio consta de tres elementos: una aguja magnetizada, una caja con cubierta de vidrio y una carta náutica con la rosa de los vientos dibujada en una de sus caras. La carta se adhería en la aguja, que a su vez se encontraba sobre un eje de forma que podía rotar libremente. Como la brújula se ponía en línea con la quilla del barco y la carta giraba siempre que el barco cambiaba de dirección, el aparato indicaba en todo momento el rumbo que llevaba el barco. A pesar de que el sistema de agujas en cajas ya había sido descrito por

el erudito francés Peter Peregrinus en 1269, fue el italiano Flavio Gioja, piloto marino originario de Amalfi, quien perfeccionó la brújula de navegación suspendiendo la aguja sobre la carta náutica, dándole al aparato su apariencia familiar. Ese modelo de brújula, con la aguja atada a una tarjeta rotatoria, también se describe en un comentario de la Divina Comedia de Dante (1380), y en otra fuente se habla de una brújula portátil en una caja (1318), soportando la noción de que la brújula seca era conocida en Europa por esa época.

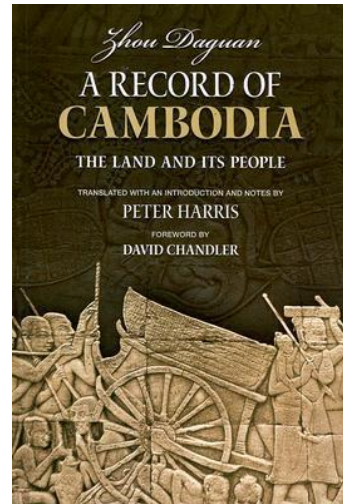


Monumento a Flavio Gioja en Amalfi (Italia)

Volviendo al mundo de la náutica, dejamos la brújula en su espacio natural, la tierra, para seguir hablando del compás.

El primer escrito que hace alusión al uso de una aguja magnetizada en navegación es el libro "Charlas de la mesa de Pingzhou" (por ahora más conocido fuera de China por su transliteración al inglés como Pingzhou Table Talks, de Zhu Yu, con fecha del año 1117: "El navegante conoce la geografía, él observa las estrellas en la noche, observa el sol en el día; cuando está oscuro y nublado, él observa la brújula". Esto, por supuesto, habría recibido una valiosa ayuda del descubrimiento de Shen Kuo del concepto del norte verdadero: la declinación magnética hacia el polo norte magnético.

El primer uso de una brújula de navegación de 48 posiciones en el mar está mencionado en un libro titulado "Las aduanas de Camboya", escrito por Zhou Daguan, diplomático de la dinastía Yuan. En este libro se describe su viaje en 1296 desde Wenzhou hasta Angkor Thom, donde un marinero tomó una dirección de la aguja de "ding wei", equivalente a 22.5° SO. Luego de arribar en Baria, el marinero tomó un dato de la "Aguja (brújula) de Kun Shen", o 52.5° SO.8



El mapa de navegación de Zheng He, también conocido como el "Mapa Mao Kun", contiene una gran cantidad de tomas de valores de aguja de los viajes de Zheng He.



En la Biblioteca Bodleiana tienen un manual de instrucciones titulado Shun Feng Xiang Song (Vientos propicios -o justos- para compañía) que contiene gran detalle acerca del uso de la brújula de navegación.

Siguiendo con la evolución histórica de la brújula, más adelante fue mejorada para reducir su tamaño e incrementar su practicidad, cambiándose la vasija de agua por un eje rotatorio, y añadiéndose una "rosa de los vientos" que sirve de guía para calcular direcciones. Actualmente las brújulas han recibido pequeñas mejoras que, si bien no cambian su sistema de funcionamiento, hacen más sencillas las mediciones a realizar. Entre estas mejoras se encuentran sistemas de iluminación para toma de datos en entornos oscuros, y visores para mediciones en las que las referencias son objetos situados en la lejanía.



Centrándonos en el mundo de la náutica, la normativa actual exige disponer de este elemento a bordo, a pesar de que en la realidad no es el elemento utilizado realmente para conocer y seguir un rumbo.

En el año 2010 la Universidad del País Vasco patentó una brújula virtual capaz de corregir el rumbo en tiempo real. Un análisis de dicha patente evidencia que el funcionamiento de esta brújula virtual se basa en procesar la información recibida de los diferentes equipos de a bordo y aplicar valores de corrección obtenidos de la tablilla de desvíos del buque, así como la declinación magnética de la zona.



Desde mi humilde punto de vista considero que esta patente solo tiene cierto interés como ejercicio académico, pero no es en absoluto fiable ya que no es capaz de adaptarse a cambios que puedan originarse, por ejemplo, en el magnetismo del buque. Por otro lado, requiere alimentarse de un GPS para conocer la zona de navegación y, ya puestos a utilizar esta tecnología es mucho mejor hacerlo de forma más eficaz, como lo hace el compás satelitario.

2.2.2.- Bitácora

La bitácora en sí es un armario por lo general de forma cilíndrica o prismática, que esta fijo a la cubierta de una embarcación junto a la rueda del timón, y en la que va montada la aguja náutica mediante suspensión Cardán, a fin de que siempre se mantenga horizontal a pesar de los balances y cabezadas del buque. En su interior se colocan imanes y en el exterior dos esferas de hierro dulce, para anular la acción

perturbadora producida por los hierros de a bordo y hacer uniforme el campo magnético que rodea a la aguja, con objeto de lograr que en todo momento señale el norte magnético o, al menos, se desvíe lo menos posible de este.



Antiguamente, cuando los buques carecían de puente de mando cubierto, solía guardarse en el interior de la bitácora el llamado cuaderno de bitácora, para preservarlo de las inclemencias del tiempo. Aunque el nombre se ha popularizado en los últimos años a raíz de su utilización en diferentes ámbitos, el cuaderno de trabajo o bitácora ha sido utilizado desde siempre.

No deja de ser llamativo que hoy en día, y a pesar de la evolución exponencial de la tecnología, se sigan utilizando estos arcaicos artefactos que además, por ley, deben ser calibrados periódicamente mediante expertos llamados “Compensadores de agujas”, sin duda una profesión que, según mi humilde entender, tiene los días contados.

2.2.2.- El girocompás

Un girocompás es un dispositivo que mira siempre al Norte geográfico usando un juego de discos o anillos que, mediante motores, giran a alta velocidad y las fuerzas de fricción para aprovechar la rotación de la Tierra. No basan su funcionamiento por lo tanto en el magnetismo terrestre por lo que están libres de los problemas que de ello se derivan, aunque tiene otros.

Los girocompases se usan ampliamente en los barcos. Tienen dos ventajas principales sobre las brújulas magnéticas:

- Señalan al norte geográfico, es decir, la dirección del eje de rotación de la Tierra, y no al norte magnético.
- No se ven afectados por el metal del casco de los barcos.

Un girocompás es esencialmente un giróscopo, una rueda girando montada de forma que su eje queda libre para orientarse en cualquier dirección. Basa por lo tanto su funcionamiento en el mismo efecto que la sencilla peonza pero, como veremos, los utilizados en los buques son extremadamente complejos y, por lo tanto, caros de comprar, instalar y mantener.



Supongamos que la rueda gira con su eje señalando en alguna dirección diferente a la de la Estrella Polar. Debido a la ley de conservación del momento angular, una rueda en esta situación mantendrá su orientación original. Dado que la Tierra rota, para un observador estacionario sobre la Tierra parecerá que el eje del giróscopo rota una vez cada 24 horas. Un giróscopo rotando de esta forma no puede usarse en navegación. El ingrediente adicional crucial necesario para un girocompás es algún mecanismo que aplique un par de giro cuando el eje del giróscopo no señale al norte.

Un de los métodos para lograr esto usa fricción para aplicar el par necesario: el giróscopo del girocompás no es por tanto totalmente libre para reorientarse por sí mismo. Si por ejemplo un dispositivo conectado al eje se sumerge en un fluido viscoso, entonces dicho fluido se resistirá a la reorientación del eje. Esta fuerza de fricción provocada por el fluido resulta en un par de giro actuando sobre el eje, provocando que éste gire en una dirección ortogonal al par (es decir, precedente) hacia el norte geográfico (la Estrella Polar). Una vez que el eje apunte hacia el norte, parecerá estacionario y no experimentará ninguna fuerza de fricción más. Esto se debe a que el norte geográfico es la única dirección para la que el giróscopo puede permanecer sobre la superficie de la Tierra sin ser forzado a cambiar. Se considera que éste es un punto de energía potencial mínima.

El otro de los métodos, sin duda más práctico, utiliza pesos para forzar al eje del giróscopo a permanecer horizontal con respecto a la superficie de la Tierra, pero permitirle rotar libremente dentro de ese plano. En este caso, la gravedad aplicará un par de giro obligando al eje del giróscopo a orientarse hacia el norte. Debido a que los pesos confinarán al eje a estar horizontal respecto a la superficie de la Tierra, éste

nunca puede alinearse con el eje del planeta (excepto en el Ecuador) y debe realinearse a medida que la tierra rota. Pero con respecto a la superficie terrestre, el giróscopo parecerá estar estacionario y señalando junto a la superficie terrestre hacia el polo norte geográfico.

Dado que el funcionamiento de un girocompás depende crucialmente de su rotación sobre la Tierra, no funcionará correctamente si el buque en el que está montado se mueve rápidamente, especialmente en la dirección este a oeste.

Posee dos ventajas sobre el compás magnético:

- Señala la dirección del norte verdadero en oposición al norte magnético indicado por la brújula.
- No se ve afectado por la estructura del buque. No posee desvío, por tanto si bien posee un pequeño error, este es constante a todo rumbo.

Estas ventajas permiten la aplicación del girocompás no solo en el mundo de la náutica. Por ejemplo es de gran utilidad en la minería, donde instrumentos como el GPS o la brújula no serían útiles debido a la dificultad en la recepción en GPS o a la poca fiabilidad de la brújula debido a la presencia de vetas metálicas.

Por el contrario tiene también algunos inconvenientes:

- Requiere de una fuente constante de energía.
- Su consumo eléctrico es elevado (70 W, 140 durante la puesta en marcha)
- Su tiempo de puesta en marcha es elevado (desde 0,5 hasta 4 horas)
- Su coste de compra es elevado
- Su coste de instalación también es elevado
- Requiere un mantenimiento periódico, que también es costoso.

Es importante recalcar que, tal como se indica, el tiempo de puesta en marcha puede oscilar desde la media hora hasta las cuatro horas hasta que el compás se estabiliza, algo a tener muy en cuenta.

Así mismo es de destacar su consumo eléctrico de 70 watios a la hora (140 durante la puesta en marcha), algo a tener en cuenta a bordo de los buques, no solo por lo que respecta al aporte de energía, si no por el hecho de que es un elemento que genera mucho calor (y bastante ruido).

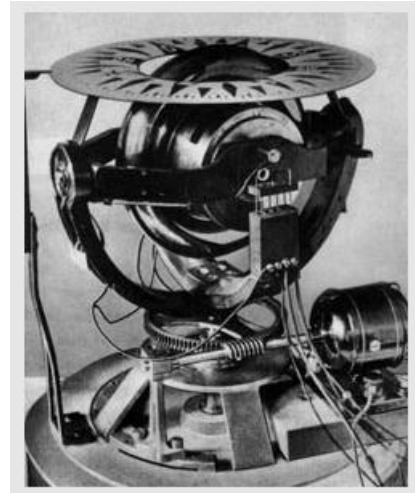
El girocompás fue patentado en 1885 por el holandés Martinus Gerardus van den Bos, si bien su diseño nunca funcionó adecuadamente. Debe ser muy frustrante tener una idea pero no lograr que acabe de funcionar correctamente.

En 1889, el capitán Arthur Krebs diseñó un giróscopo pendular eléctrico para el submarino experimental francés Gymnote, que le permitiría forzar un bloqueo naval en 1890.

En 1903 el alemán Herman Anschütz-Kaempfe construyó un girocompás que funcionaba y obtuvo una patente sobre su diseño.



Herman Anschütz-Kaempfe



Su girocompás

En 1908 Anschütz-Kaempfe y el inventor estadounidense Elmer Ambrose Sperry patentaron el girocompás en Gran Bretaña y los Estados Unidos. Cuando Sperry intentó vender este dispositivo a la armada alemana en 1914, Anschütz-Kaempfe le denunció por violación de patente. Sperry argumentó que la patente de Anschütz-Kaempfe no era válida debido a que no mejoraba significativamente la anterior patente de van den Bos. Se concluyó que Sperry la había infringido al usar un método específico de amortiguamiento. Anschütz-Kaempfe ganó el caso en 1915.

2.2.3.- El GPS

Siguiendo con la evolución tecnológica llegamos al GPS (Global Positioning System: sistema de posicionamiento global) o NAVSTAR-GPS1, el cual es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. El sistema fue desarrollado, instalado y actualmente operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

2.2.3.1.- Funcionamiento

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra, a 20.200 kph, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos.



Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante "triangulación" (método de trilateración inversa), la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

2.2.3.2.- Historia

En 1957, la Unión Soviética lanzó al espacio el satélite Sputnik I, que era monitorizado mediante la observación del efecto Doppler de la señal que transmitía. Debido a este hecho, se comenzó a pensar que, de igual modo, la posición de un observador podría ser establecida mediante el estudio de la frecuencia Doppler de una señal transmitida por un satélite cuya órbita estuviera determinada con precisión.

La armada estadounidense rápidamente aplicó esta tecnología, para proveer a los sistemas de navegación de sus flotas de observaciones de posiciones actualizadas y precisas. Así surgió el sistema TRANSIT, que quedó operativo en 1964, y hacia 1967 estuvo disponible, además, para uso comercial.

Las actualizaciones de posición, en ese entonces, se encontraban disponibles cada 40 minutos y el observador debía permanecer casi estático para poder obtener información adecuada.

Posteriormente, en esa misma década y gracias al desarrollo de los relojes atómicos, se diseñó una constelación de satélites, portando cada uno de ellos uno de estos relojes y estando todos sincronizados con base en una referencia de tiempo determinado.

En 1973 se combinaron los programas de la Armada y el de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (este último consistente en una técnica de transmisión codificada que proveía datos precisos usando una señal modulada con un código de PRN (Pseudo-Random Noise: ruido pseudo-aleatorio), en lo que se conoció como Navigation Technology Program (programa de tecnología de navegación), posteriormente renombrado como NAVSTAR GPS.

Entre 1978 y 1985 se desarrollaron y lanzaron once satélites prototipo experimentales NAVSTAR, a los que siguieron otras generaciones de satélites, hasta completar la constelación actual, a la que se declaró con «capacidad operacional inicial» en diciembre de 1993 y con «capacidad operacional total» en abril de 1995.

En 2009, este país ofreció el servicio normalizado de determinación de la posición para apoyar las necesidades de la OACI, y ésta aceptó el ofrecimiento.

2.2.3.3.- El receptor GPS

La situación de los satélites puede ser determinada de antemano por el receptor con la información del llamado almanaque (un conjunto de valores con 5 elementos orbitales), parámetros que son transmitidos por los propios satélites. La colección de los almanaques de toda la constelación se completa cada 12-20 minutos y se guarda en el receptor GPS.

La información que es útil al receptor GPS para determinar su posición se llama efemérides. En este caso cada satélite emite sus propias efemérides, en la que se incluye la salud del satélite (si debe o no ser considerado para la toma de la posición), su posición en el espacio, su hora atómica, información doppler, etc..

El receptor GPS utiliza la información enviada por los satélites (hora en la que emitieron las señales, localización de los mismos) y trata de sincronizar su reloj interno con el reloj atómico que poseen los satélites. La sincronización es un proceso de prueba y error que en un receptor portátil ocurre una vez cada segundo. Una vez sincronizado el reloj, puede determinar su distancia hasta los satélites, y usa esa información para calcular su posición en la tierra.

Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.

Obteniendo información de dos satélites se nos indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se intersecan las dos esferas.

Si adquirimos la misma información de un tercer satélite notamos que la nueva esfera sólo corta la circunferencia anterior en dos puntos. Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición absurda (por fuera del globo terráqueo, sobre los

satélites). De esta manera ya tendríamos la posición en 3D. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS, los dos puntos determinados no son precisos.

Teniendo información de un cuarto satélite, eliminamos el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3D exacta (latitud, longitud y altitud). Al no estar sincronizados los relojes entre el receptor y los satélites, la intersección de las cuatro esferas con centro en estos satélites es un pequeño volumen en vez de ser un punto. La corrección consiste en ajustar la hora del receptor de tal forma que este volumen se transforme en un punto.

Debido al carácter militar del sistema GPS, el Departamento de Defensa de los EE. UU. se reservaba la posibilidad de incluir un cierto grado de error aleatorio, que podía variar de los 15 a los 100 m. La llamada disponibilidad selectiva (S/A) fue eliminada el 2 de mayo de 2000. Aunque actualmente no aplique tal error inducido, la precisión intrínseca del sistema GPS depende del número de satélites visibles en un momento y posición determinados.

Con un elevado número de satélites siendo captados (7, 8 ó 9 satélites), y si éstos tienen una geometría adecuada (están dispersos), pueden obtenerse precisiones inferiores a 2,5 metros en el 95% del tiempo. Si se activa el sistema DGPS llamado SBAS (WAAS-EGNOS-MSAS), la precisión mejora siendo inferior a un metro en el 97% de los casos. Estos sistemas SBAS no se aplican en Sudamérica, ya que esa zona no cuenta con este tipo de satélites geoestacionarios.

El DGPS (Differential GPS), o GPS diferencial, es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada. Se concibió fundamentalmente debido a la introducción de la disponibilidad selectiva (SA).

El fundamento radica en el hecho de que los errores producidos por el sistema GPS afectan por igual (o de forma muy similar) a los receptores situados próximos entre sí. Los errores están fuertemente correlacionados en los receptores próximos.

Un receptor GPS fijo en tierra (referencia) que conoce exactamente su posición basándose en otras técnicas, recibe la posición dada por el sistema GPS, y puede calcular los errores producidos por el sistema GPS, comparándola con la suya, conocida de antemano. Este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así estos pueden, a su vez, corregir también los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia.

En suma, la estructura DGPS quedaría de la siguiente manera:

- Estación monitorizada (referencia), que conoce su posición con una precisión muy alta. Esta estación está compuesta por: Un receptor GPS.
- Un microprocesador, para calcular los errores del sistema GPS y para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores.
- Transmisor, para establecer un enlace de datos unidireccional hacia los receptores de los usuarios finales.
- Equipo de usuario, compuesto por un receptor DGPS (GPS + receptor del enlace de datos desde la estación monitorizada).

Existen varias formas de obtener las correcciones DGPS. Las más usadas son:

- Recibidas por radio, a través de algún canal preparado para ello, como el RDS en una emisora de FM.
- Descargadas de Internet, o con una conexión inalámbrica.
- Proporcionadas por algún sistema de satélites diseñado para tal efecto. En Estados Unidos existe el WAAS, en Europa el EGNOS y en Japón el MSAS, todos compatibles entre sí.

En los mensajes que se envían a los receptores próximos se pueden incluir dos tipos de correcciones:

- Una corrección directamente aplicada a la posición. Esto tiene el inconveniente de que tanto el usuario como la estación monitorea deberán emplear los mismos satélites, pues las correcciones se basan en esos mismos satélites.
- Una corrección aplicada a las pseudodistancias de cada uno de los satélites visibles. En este caso el usuario podrá hacer la corrección con los 4 satélites de mejor relación señal-ruido (S/N). Esta corrección es más flexible.

El error producido por la disponibilidad selectiva (SA) varía incluso más rápido que la velocidad de transmisión de los datos. Por ello, junto con el mensaje que se envía de correcciones, también se envía el tiempo de validez de las correcciones y sus tendencias. Por tanto, el receptor deberá hacer algún tipo de interpolación para corregir los errores producidos.

Si se deseara incrementar el área de cobertura de correcciones DGPS y, al mismo tiempo, minimizar el número de receptores de referencia fijos, será necesario modelar las variaciones espaciales y temporales de los errores. En tal caso estaríamos hablando del GPS diferencial de área amplia.

Con el DGPS se pueden corregir en parte los errores debidos a:

- Disponibilidad selectiva (eliminada a partir del año 2000).
- Propagación por la ionosfera - troposfera.
- Errores en la posición del satélite (efemérides).
- Errores producidos por problemas en el reloj del satélite.

Para que las correcciones DGPS sean válidas, el receptor tiene que estar relativamente cerca de alguna estación DGPS; generalmente, a menos de 1000 km. Las precisiones que manejan los receptores diferenciales son centimétricas, por lo que pueden ser utilizados en ingeniería.

A pesar de su moderna tecnología el GPS esconde una gran carencia: en realidad es incapaz de medir rumbos. Ciertamente todos los equipos GPS ofrecen el rumbo al que se navega y, de hecho, nos basamos en su valor (contrastado a veces con el girocompás) para realizar las anotaciones en el libro bitácora, pero la realidad es que este equipo simplemente es capaz de saber en qué dirección nos hemos movido, es decir, determina el rumbo que aparece en pantalla calculando el rumbo seguido desde una posición anterior a la actual. Por ese motivo es incapaz de dar un rumbo correcto cuando el buque no se mueve y, de hecho, podemos observar cómo va dando valores aleatorios en base a los mínimos movimientos del buque ya sea en su atraque o en el fondeo.

Existen otros proyectos similares patrocinados por otros países o consorcios. La antigua Unión Soviética construyó un sistema similar llamado GLONASS, ahora gestionado por la Federación Rusa. Actualmente la Unión Europea está desarrollando su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado Galileo, que parece que sigue su curso a pesar de la profunda crisis económica.

A su vez, la República Popular China está implementando su propio sistema de navegación, el denominado Beidou, que contará con entre 12 y 14 satélites entre 2011 y 2015. Para 2020, ya plenamente operativo deberá contar con 30 satélites. De momento (abril 2011), ya tienen 8 en órbita.

No obstante, en el fondo se basan en una tecnología similar, por lo que no considero necesario profundizar en ellos a efectos del presente trabajo.

2.2.3.4.- Carencias del GPS

El GPS, sin duda, es hoy en día el elemento del cual más nos fiamos los marinos y, de hecho, suele ser en muchos casos el que aporta el dato del rumbo a los demás equipos del puente (AIS, ECDIS, Sonar, Sonda o Piloto automático) pero, tal como ya se ha comentado, tiene el grave inconveniente de ser incapaz de cumplir este cometido cuando el buque no navega, haciendo que todos los equipos se vuelvan “locos”.

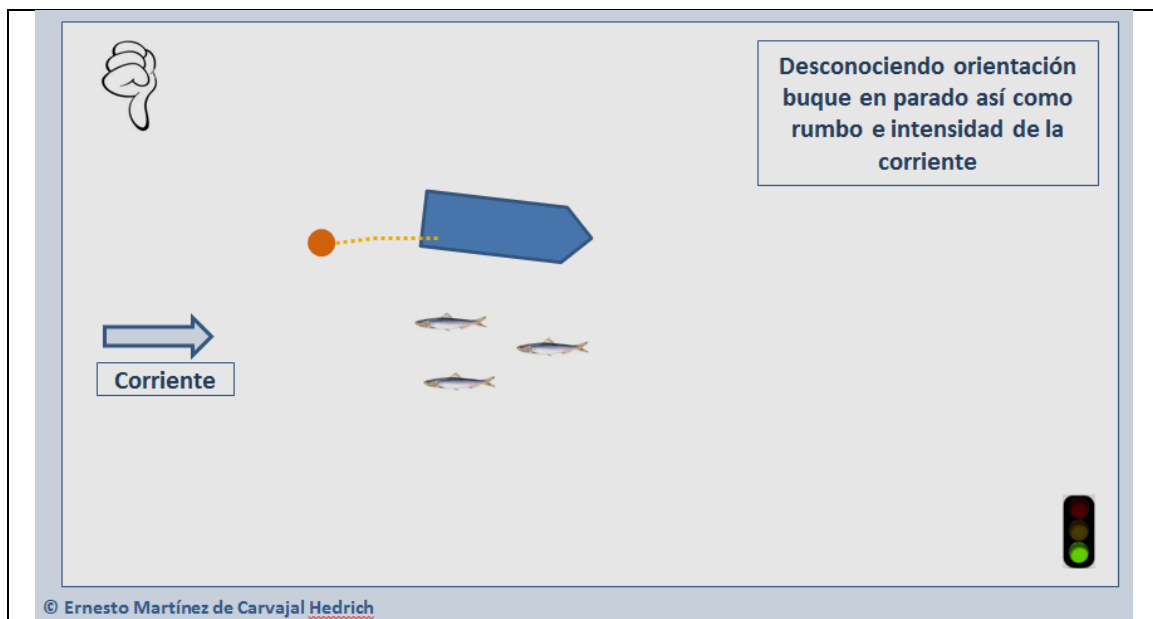
En algunos casos no tiene la menor importancia. Todos los que tenemos experiencia en navegación habremos podido ver cómo, estando atracados en puerto el AIS –por citar uno de los equipos que se alimentan del rumbo aportado por el GPS- parece que cobre vida propia y emita rumbos aleatorios que, obviamente, no se corresponde con la realidad. Si nuestro buque es un portacontenedores esto no tiene la menor importancia y los demás marinos sabrán interpretar correctamente esos aparentes cambios de rumbo de nuestro buque en sus respectivas pantallas de AIS.

En otros, por el contrario, suponen la diferencia entre el éxito y el fracaso. Es el caso, por ejemplo de un buque cerquero.

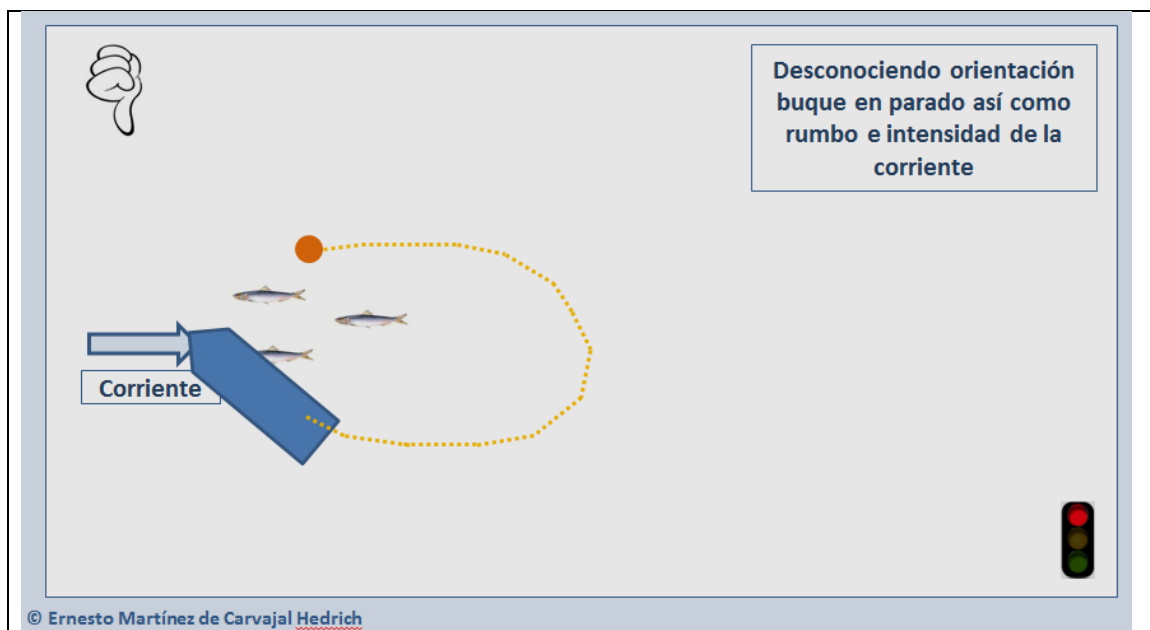
Todos los patrones de pesca sabemos que la pesca se mueve a contracorriente. Así pues, a la hora de cercar un banco de sardinas no será lo mismo hacerlo dejando la parte abierta del arte a un lado que al otro.

En muchos casos el lance se inicia desde la situación de buque parado o a la deriva

Si iniciamos el lance en la siguiente situación:



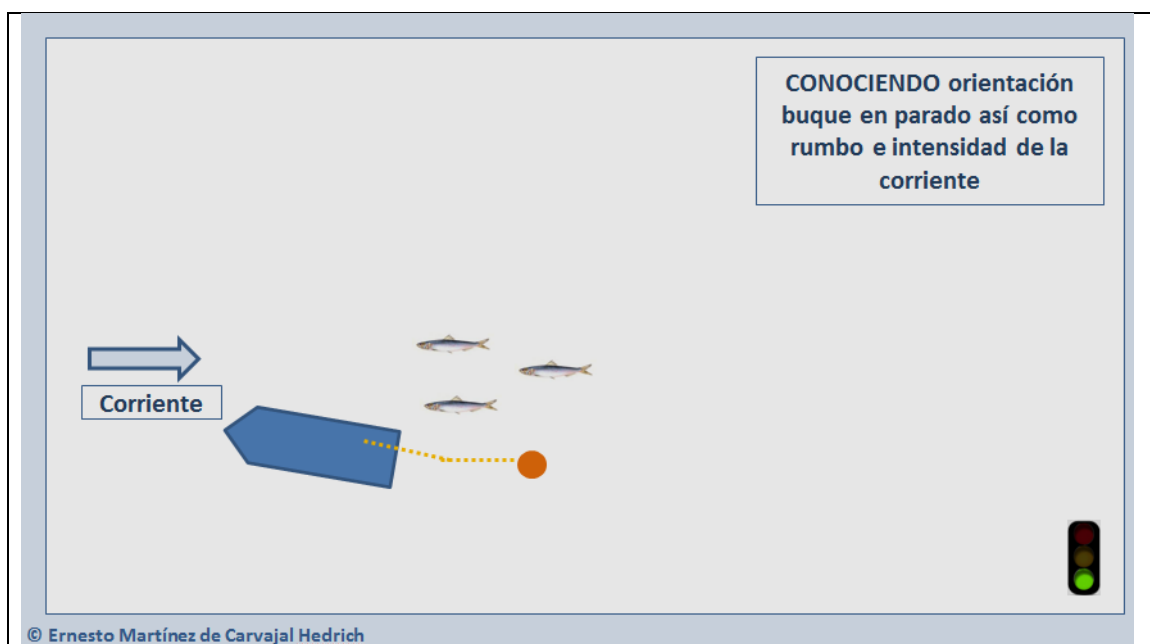
El resultado final será este:



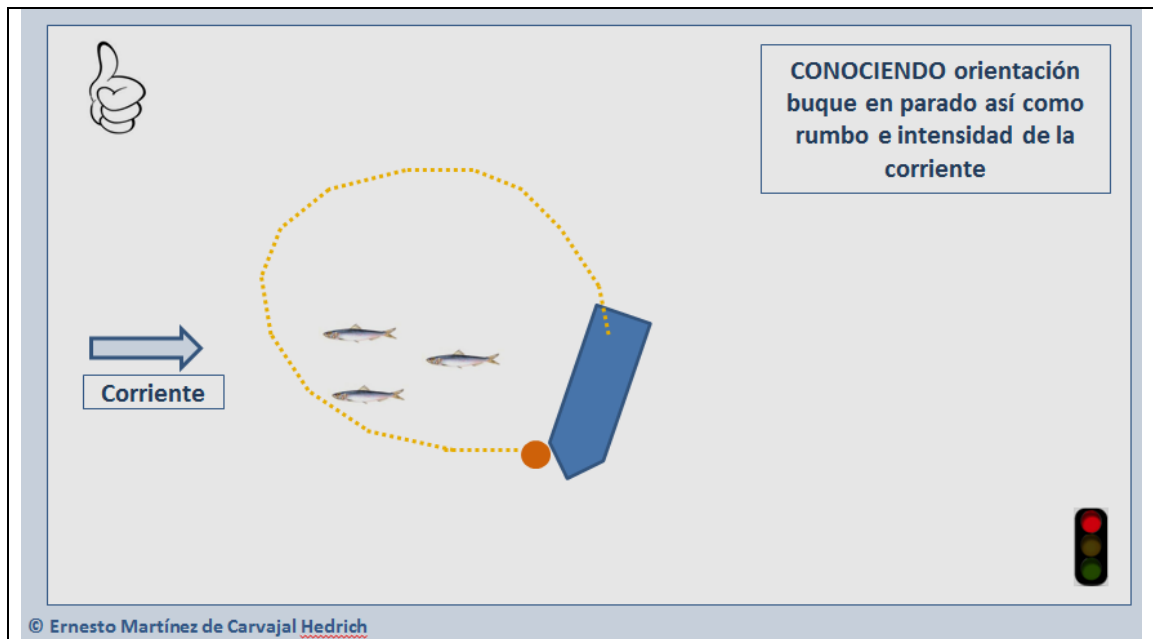
Es decir, que el banco de peces se saldrá por la parte aún abierta del arte antes de que podamos completar el círculo o antes de virar la corredera.

Para evitar esto necesitamos, por un lado, conocer la dirección de la corriente, información que podemos obtener a partir de un correntímetro y, por otro lado, necesitamos saber la orientación exacta de nuestro buque para iniciar el lance en la dirección correcta, para lo cual no nos sirve de nada el GPS.

Como veremos más adelante, con la información proporcionada por el correntímetro y el compás satelitario podemos iniciar el lance en la dirección correcta:



Y el resultado será bastante más satisfactorio:



Existen muchos otros tipos de buque que necesitan saber con exactitud cual es su orientación, incluso cuando están parados, como por ejemplo:

- Cableros
- Remolcadores
- Buques de suministro a plataformas

Y queda claro que el GPS no sirve para este propósito, al menos en su concepción original.

2.2.4.- El Compás fluxgate

El compas fluxgate es un dispositivo electromagnético sencillo que utiliza dos o más pequeñas bobinas enrolladas en un núcleo de ferrita por la que se hace circular una corriente alterna que genera otra corriente secundaria senoidal.

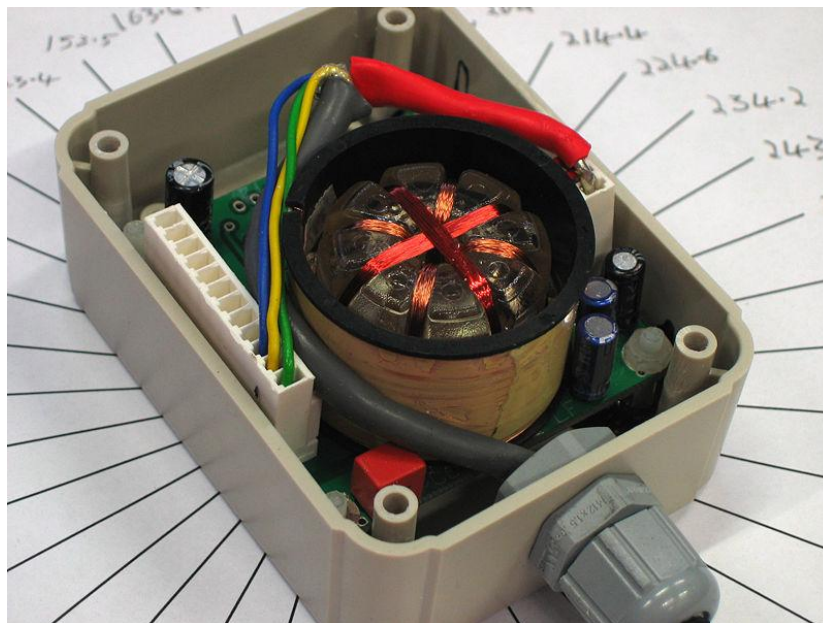
La tensión de la corriente secundaria alcanza su valor máximo cuando la bobina está paralela a las líneas del campo magnético terrestre y su valor es nulo cuando se halla a 90 grados.

Para conocer la posición relativa, se hace uso de dos sensores perpendiculares entre sí. Uno de ellos genera una tensión secundaria equivalente al coseno del ángulo que forman las líneas del campo magnético terrestre con la bobina, mientras que el segundo sensor genera una tensión secundaria en función del seno del mismo ángulo.

Siempre es conveniente que el compás disponga de una función de alarma que avise al patrón ante guiñadas superiores a las previstas.

El compás electrónico no precisa rosa náutica para indicar los rumbos, pudiendo no sólo mostrar digitalmente los resultados sino también intercambiar información con otros instrumentos.

Uno de los sistemas más empleados consta de tres bobinas que forman un triángulo junto a un núcleo de hierro que, al hacer pasar la corriente, actúa como un electroimán. Dado que el campo magnético del hierro no puede sobrepasar el valor de saturación, dicho campo tiene un valor máximo cualquiera que sea la intensidad de la corriente que circule por las bobinas. La bobina que capte mayor cantidad del campo magnético es la que primero quedará saturada. El conjunto actúa como una válvula de flujo, de ahí el nombre en inglés de “fluxgate” con el que se conocen estos compases.



Al contrario de lo que sucede con las agujas magnéticas, las bobinas del fluxgate no tienen necesidad de orientarse para proporcionar la información requerida, bastando para convertir los valores eléctricos generados en impulsos que, enviados a un display o instrumento adecuado, pueden convertirse en rumbos equivalentes.

Los compases electrónicos utilizan las mismas líneas de fuerza magnética que los compases convencionales, por lo que se ven afectados por los fenómenos de desvíos y variaciones magnéticas., si bien pueden separarse el sensor e indicador de rumbo, lo que permite situar el sensor en el lugar de a bordo menos expuesto a perturbaciones e interferencias.

Una buena parte de los modelos existentes en el mercado disponen de un sistema de compensación automático, de precisión $\pm 0,5$ grados. Para introducir los valores de

variación magnética y desvíos, basta con dar uno o más giros de 360 grados con el barco para que el mismo aparato registre los errores existentes y los vaya aplicando en función del rumbo seguido. De no disponer de esta función automática, disponen de un teclado para introducir manualmente la corrección.

Otros modelos de mayor coste utilizan una señal GPS para determinar la ubicación del buque y aplicar la declinación magnética correspondiente a esa zona de navegación. Este es el caso, por ejemplo, del modelo PG-500 de Furuno:



Sensor fluxgate



Pantalla

La compensación no tiene en cuenta la componente vertical terrestre, por lo que es imprescindible exista una buena estabilidad horizontal del sensor. Algunos fluxgate disponen de suspensiones cardan e incluso llevan los sensores inmersos en aceite.

Los equipos fijos suelen disponer de una interfaz NMEA.

Basa su funcionamiento en el magnetómetro, un dispositivo que sirve para cuantificar en fuerza o dirección la señal magnética de una muestra. Los hay muy sencillos, como la balanza de Gouy o la balanza de Evans, que miden el cambio en peso aparente que se produce en una muestra al aplicar un campo magnético (por el momento magnético que se induce), y también muy sofisticado, como los dotados de SQUID, que son los más sensibles actualmente.

No son equipos muy utilizados en la náutica ya que al basar su funcionamiento en el campo magnético terrestre, al igual que un compás tradicional, se ve afectado por los mismos problemas que este y, adicionalmente, requiere una pequeña fuente de energía. Es decir, tiene las mismas desventajas que un compás tradicional y, por el contrario, no es capaz de funcionar sin alimentación eléctrica. Adicionalmente, si queremos incrementar su precisión, lo hemos de conectar a un GPS. En otras palabras, puestos a utilizar la tecnología GPS, nos parece mucho más adecuado el Compás Satelitario.

2.2.5.- El compás satelitario

Este equipo, que es el objeto de este trabajo, lo tratamos en profundidad en el apartado 3. Simplemente adelantar que actualmente es el equipo más preciso para determinar la dirección de un buque en casi cualquier situación, incluso parado.

2.2.6.- Progresión tecnológica

Algo que sin duda me ha llamado mucho la atención es el hecho de que actualmente se siga utilizando en la navegación mercante equipos basados en una tecnología que cuenta con muchos años a sus espaldas. No es que reniegue de la bondad de algo simplemente por el hecho de ser antiguo. Lo que es llamativo es que haya sido capaz de seguir en activo mientras que en otros campos la vida media de una tecnología es, en ocasiones, de apenas una década.

En ese sentido he querido mostrar de forma esquemática este hecho:



Obsérvese que desde la aparición del compás náutico hasta el girocompás transcurrieron 800 años. A partir de ahí la evolución fue algo menos lenta y “solo” transcurrieron 200 años hasta la aparición del GPS.

Esto nos permite calificar al compás como un prodigio de la supervivencia tecnológica, máxime si lo comparamos con otras tecnologías como la informática o la telefonía, que desde sus inicios sigue una curva exponencial:



En el caso concreto de la informática, podemos situar sus inicios a finales de los años 40, principio de los 50. A la sazón, los computadores se construían utilizando dispositivos electromecánicos, como los relés, y dispositivos electrónicos básicos como las válvulas termoiónicas, las resistencias y los condensadores. No tenían pantalla, ni teclado, ni sistema operativo, y su programación se hacía a base de tarjetas perforadas o recableando las conexiones entre sus componentes.

Aquellos primeros colosos, como el Mark Y o el ENIAC; ocupaban toda una sala, pesaban varias toneladas y tardaban una decena de segundos al hacer una división. En los últimos 50 años la ciencia y la tecnología han hecho posible pasar de esos dinosaurios a los ordenadores de hoy en día, los cuales podemos coger con la palma de la mano y son capaces de realizar centenares de millones de operaciones por segundo. Este salto ha sido posible gracias al transistor, a los circuitos integrados y a los dispositivos de almacenamiento de datos magnético, sólidos y ópticos.

Quizás más cercana al público general, es el caso de la evolución de la telefonía que en su etapa final se ha combinado con la informática ofreciendo pequeños dispositivos que, además de elevadas prestaciones de telefonía, disponen de una potencia de cálculo extremadamente superior a los primeros ordenadores.



Sin duda, los motivos de esta anormal longevidad del compás se debe a aspectos tales como:

- Su simplicidad
- Su eficacia
- Su nulo consumo energético

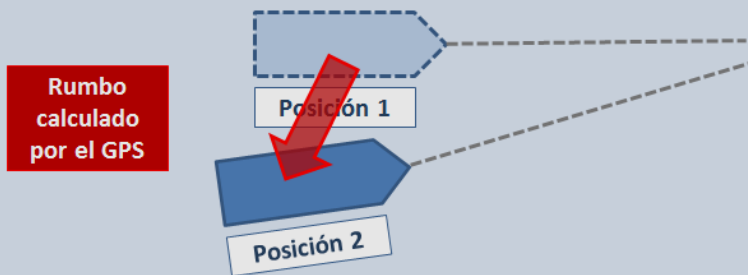
Introducción	Evolución	Compás <u>satelitario</u>	Conclusiones
	Ventajas	Inconvenientes	
Compás magnético	Simplicidad. No requiere fuente de energía.	Indica Nm, no Nv Sujeto a interferencias magnéticas, electromagnéticas. Requiere compensaciones periódicas.	
Girocompás	Precisión	Mantenimiento y revisiones periódicas y caras. Consumo eléctrico elevado Tiempo de puesta en marcha	
GPS	Precisión. Sin mantenimiento. Bajo consumo.	Determina el rumbo en base al camino recorrido entre dos posiciones: NO MIDE RUMBOS.	

© Ernesto Martínez de Carvajal Hedrich

El problema para el compás es que cada día se busca más la automatización y los puentes integrados y, a pesar de sus ventajas, el compás no es capaz de comunicarse con los demás elementos electrónicos presentes hoy en día en el puente de un buque y, aunque fuese capaz de ello, su rumbo no sería el adecuado para alimentarlos.

El GPS, sin duda, es hoy en día el elemento del cual más nos fiamos los marinos y, de hecho, suele ser en muchos casos el que aporta el dato del rumbo a los demás equipos del puente pero, tal como ya se ha comentado, tiene el grave inconveniente de ser incapaz de cumplir de forma correcta este cometido cuando el buque no navega, haciendo que todos los equipos se vuelvan “locos”.

Es más, los buques atracados, fondeados o faenando no están absolutamente quietos y sus pequeños movimientos hacen que el GPS calcule rumbos erróneos.



© Ernesto Martínez de Carvajal Hedrich

3.- El compás satelitario

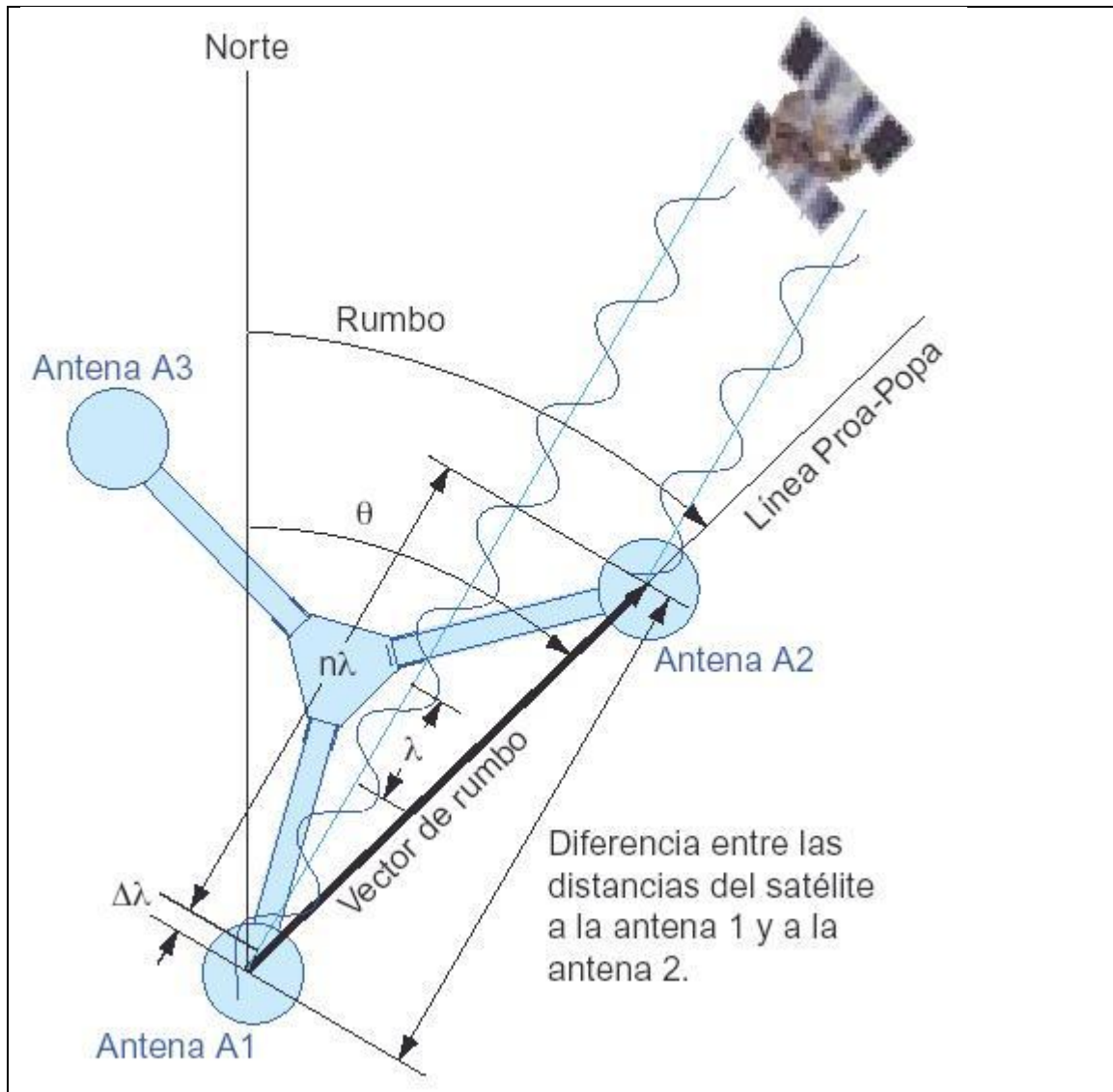
Llegamos finalmente al compás satelitario, también llamado compás satelital. Sin duda es el dispositivo actual más preciso para determinar los rumbos, a pesar de lo cual se basa en un elemento que, por sí solo no es capaz de ello: el GPS.

El compás satelital consta de tres antenas GPS en un sólido soporte



En principio, dos antenas A1(ref) y A2(proa), cada una conectada con un GPS y un procesador, son instaladas en la línea proa-popa del barco. Los sistemas GPS en A1 y A2 calculan las distancias y acimuts al satélite.

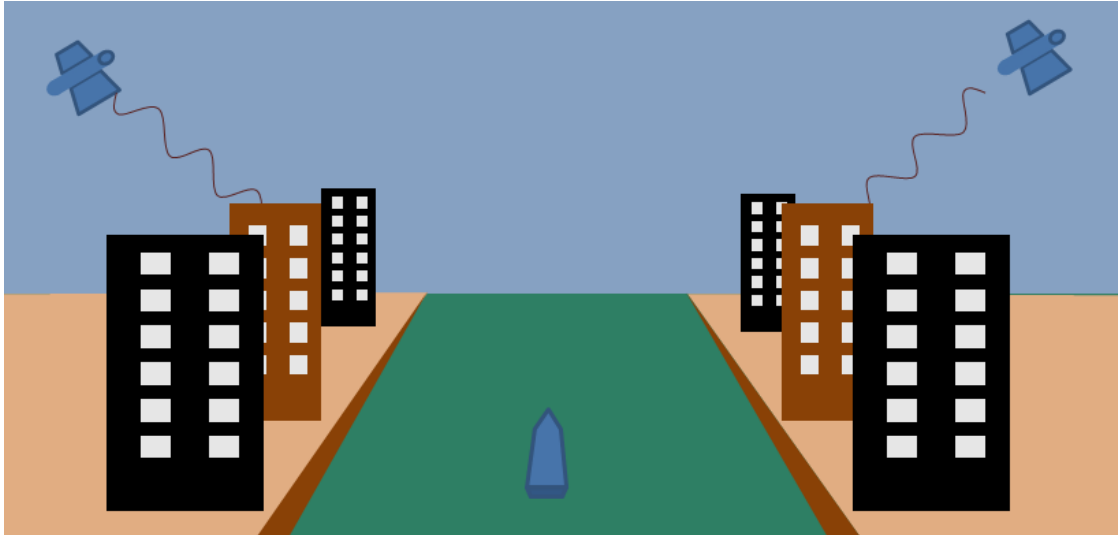
La diferencia de distancia entre A1 y A2 es $DI + nI$, donde I es 19 cm y n^* es hallado automáticamente durante la etapa de inicialización.



Una fracción de longitud de onda portadora, DI , es procesada para mediciones geográficas; así se determina el vector $A1-A2$, esto es, el rumbo del barco con relación al Norte.

En la práctica se añade al sistema una tercera antena para reducir la influencia del cabeceo, del balanceo y de la guiñada y se usan 5 satélites para procesar datos 3D (3º satélite), reducir el error de reloj (4º satélite) y calcular "n" en el paso inicial (5º satélite).

Si la señal GPS es bloqueada por algún obstáculo, los sensores de relación giroscópica de 3 ejes, en el procesador, sustituyen a los satélites hasta que se restauran las señales de éstos, si bien esta es una situación poco habitual en los buques mercantes.



Los sensores de relación contribuyen también, junto con la tercera antena (A3 en la ilustración), a atenuar los efectos del cabeceo, del balanceo y de la guiñada en la determinación del rumbo.

Este compás satelitario puede ser utilizado para una amplia variedad de aplicaciones que requieren señal de rumbo, tales como Radar/ARPA, AIS, ECDIS, Sonar, Sondas, Piloto Automático, etc.

Su funcionamiento no se ve afectado ni por la velocidad del barco, la latitud, el geomagnetismo, etc.

El tiempo de respuesta es mínimo y el seguimiento es excelente, hasta 45°/s (SOLAS HSC Code requiere como mínimo 20°/s).

Suministra información de posición GPS, SOG (velocidad sobre el fondo), COG (rumbo sobre el fondo) y ROT (velocidad de giro).

La SOG, calculada mediante el desplazamiento Doppler de las señales satelitarias, es notablemente precisa.



Así mismo, al poder determinar de forma precisa los grados de escora y cabeceo, se le puede dotar de alarmas cuando dichos valores excedan de un determinado valor.

Aprobado según IMO SMC.116(73) como un Dispositivo Transmisor de Rumbo (THD) con precisión de $\pm 0,6^\circ$

Relación de seguimiento de hasta $45^\circ/\text{s}$, muy por encima de lo exigido por la IMO para buques rápidos ($20^\circ/\text{s}$)

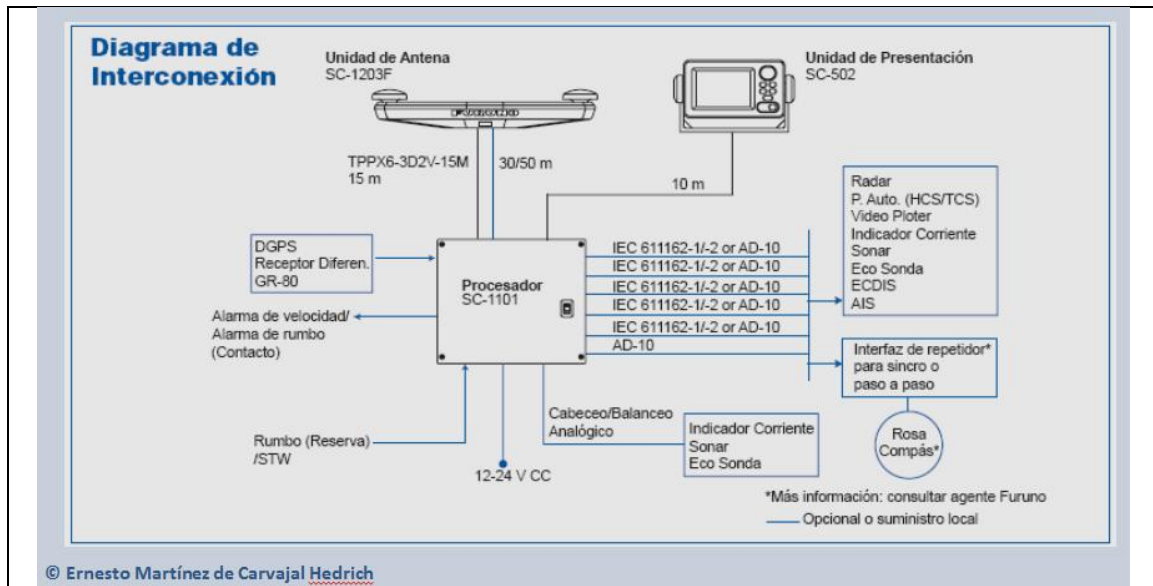
Otra ventaja que será muy apreciada por las navieras es que es un equipo absolutamente exento de mantenimiento regular anual.

3.1.- Componentes

Los componentes de un compás satelitario son:

- La antena
- El receptor de la señal de corrección diferencial
- El procesador
- La unidad de visualización

Vamos a ver cada uno de estos componentes para lo cual utilizaremos la información técnica disponible del modelo SC-110 de Furuno.

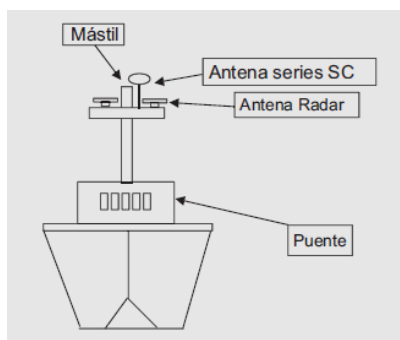


3.1.1.- La antena

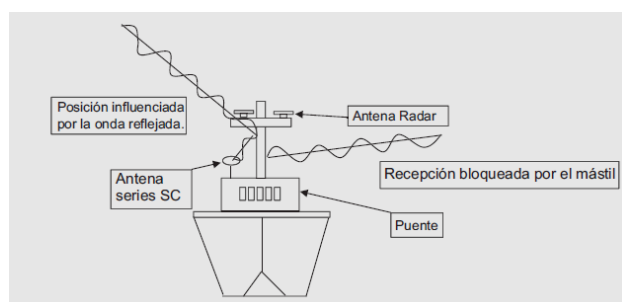
Como ya se ha comentado previamente, se trata de tres receptores GPS montados en un soporte.



Obviamente debe estar instalada en el exterior y sin elementos físicos que puedan alterar la señal GPS enviada por los satélites, ya sea bloqueándola o generando reflexiones.

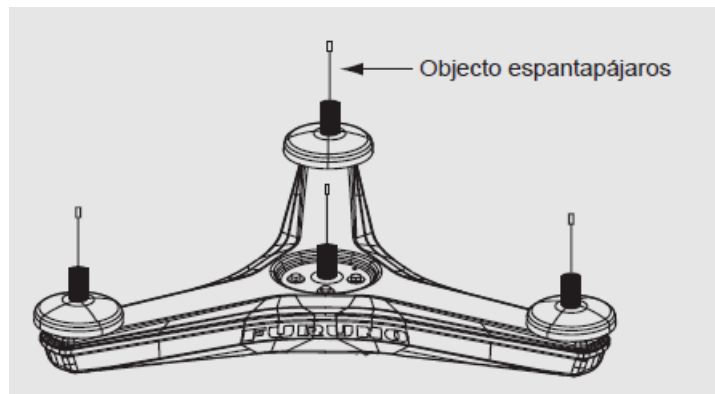


Situación ideal

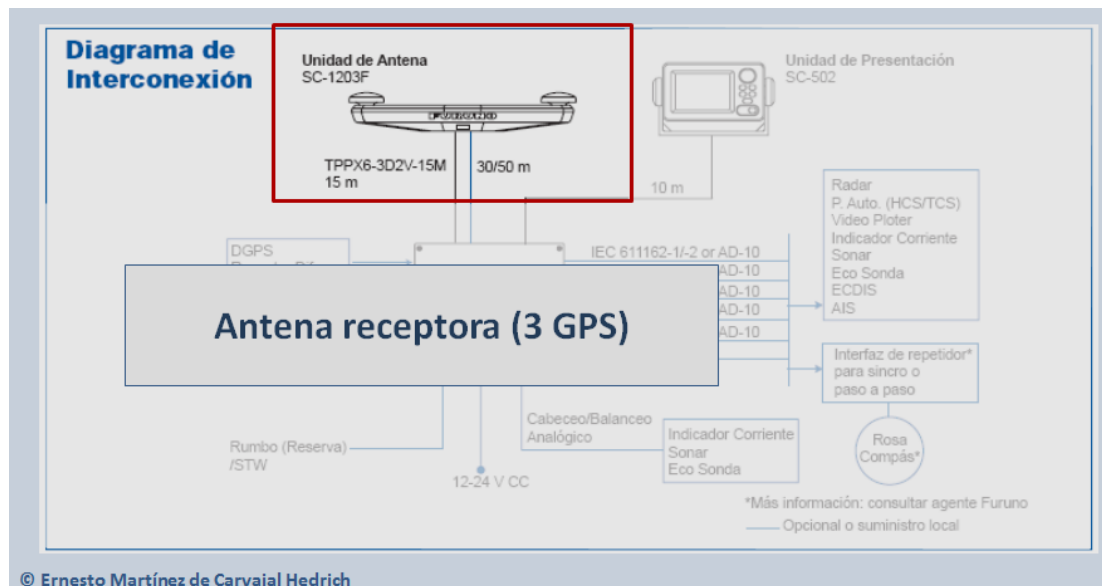


Situación no ideal

En caso necesario se puede dotar a la antena de elementos “espanta pájaros”:

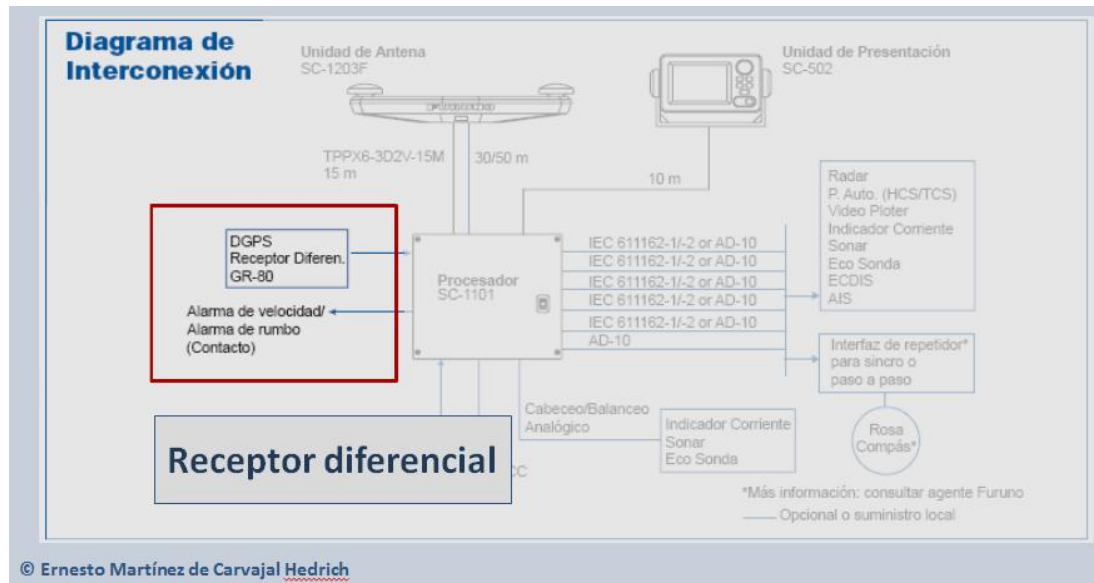


Este sería su ubicación en el diagrama de conexión:

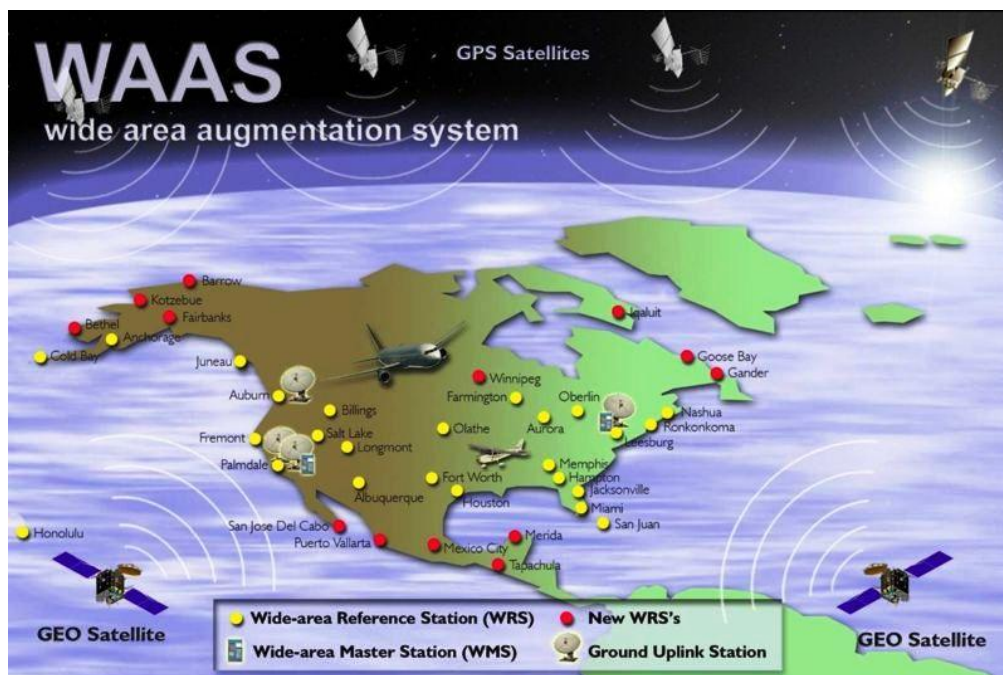


3.1.2.- El receptor de la señal de corrección diferencial

Opcionalmente se puede alimentar al sistema mediante la señal de corrección diferencial, lo que permite incrementar su precisión en la posición desde los 10m a los 5m.

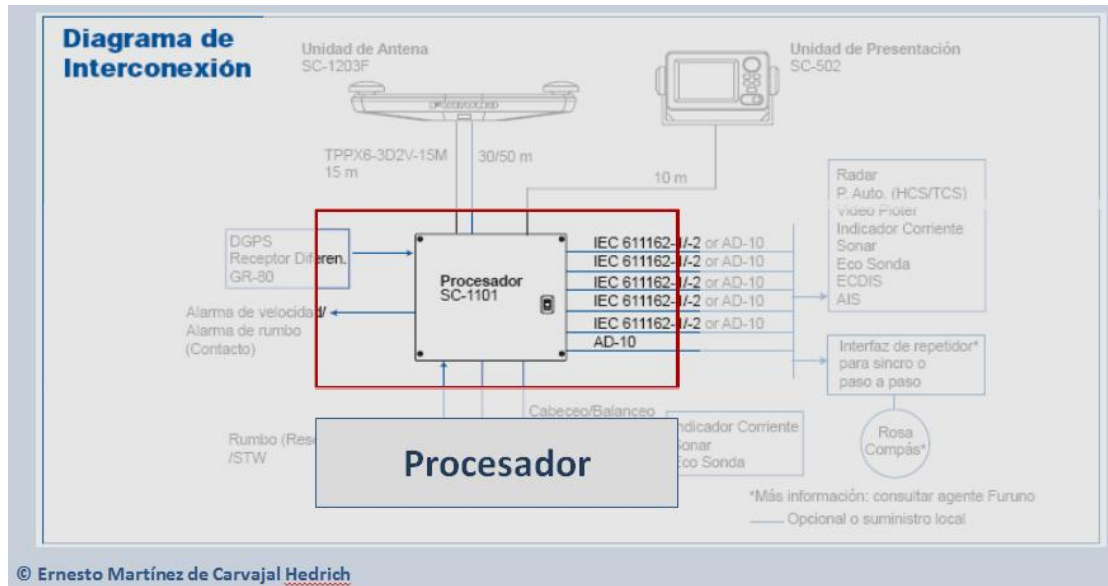


En el caso de este equipo de Furuno cabe mencionar que además de poder incrementar la precisión con la señal diferencial, se puede configurar para utilizar el sistema WAAS (Wide Area Augmentation System o Sistema de Aumentación Basado en Satélites) desarrollado por Estados Unidos, el cual se trata de un complemento para la red GPS al objeto de proporcionar una mayor precisión y seguridad en las señales, permitiendo una precisión en la posición menor de dos metros. En el fondo funciona como el GPS diferencial, si bien la información es transmitida por medio de una constelación específica de 3 satélites y solo funciona en las áreas en las que se dispone de las correspondientes estaciones terrenas (Estados Unidos, Alaska, Hawái y Puerto Rico).



3.1.3.- El procesador

El procesador es el elemento que realiza los cálculos necesarios a partir de la información proporcionada por todos los elementos de entrada, como los tres GPS, la señal diferencial, giróscopos, etc.



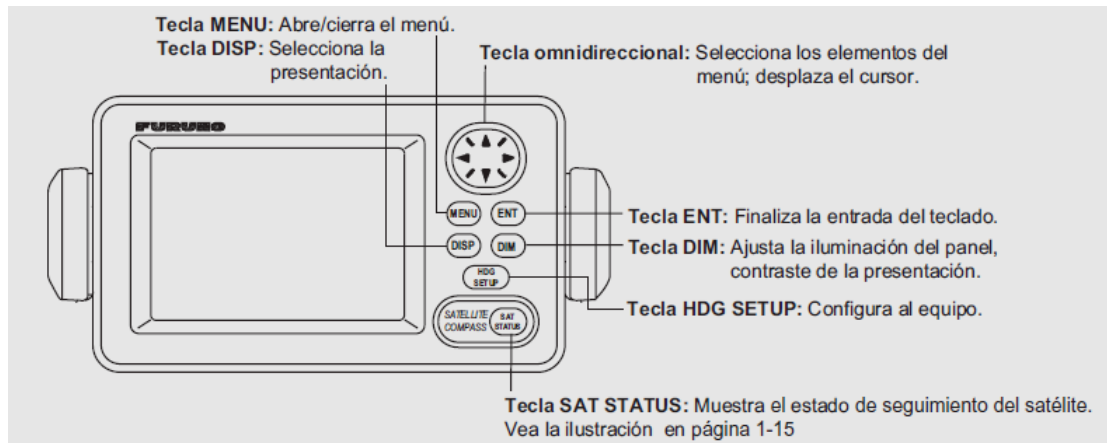
Cuando el sistema se arranca por primera vez no tiene en memoria información de los satélites GPS (Almanaque); en estas condiciones, tarda aproximadamente 12 minutos en adquirir el almanaque, encontrar el rumbo y presentar «OK».

El contador de tiempo, en la esquina superior izquierda de la pantalla, indica el tiempo transcurrido desde el encendido del equipo; si transcurridos 30 minutos no aparece la indicación «OK», la situación de la antena no es la adecuada, no hay cinco satélites «a la vista» o existe algún obstáculo en el camino de las señales.

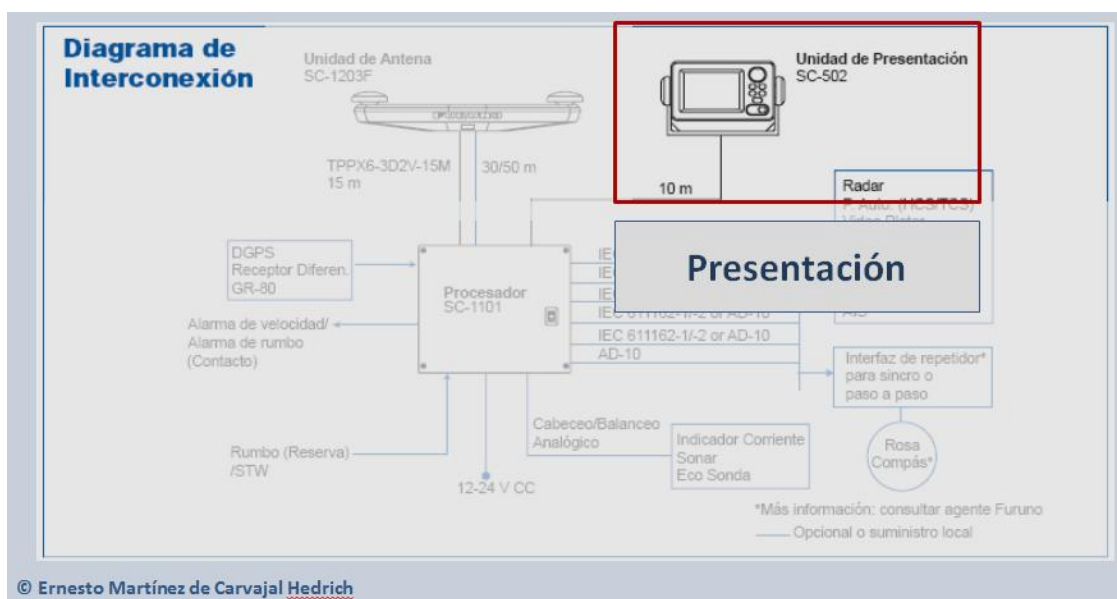
3.1.4.- La unidad de visualización

Es el elemento con el cual controlamos el funcionamiento del equipo y en el cual podemos visualizar la información que genera el procesador.

Dispone de los siguientes botones para el control del equipo:



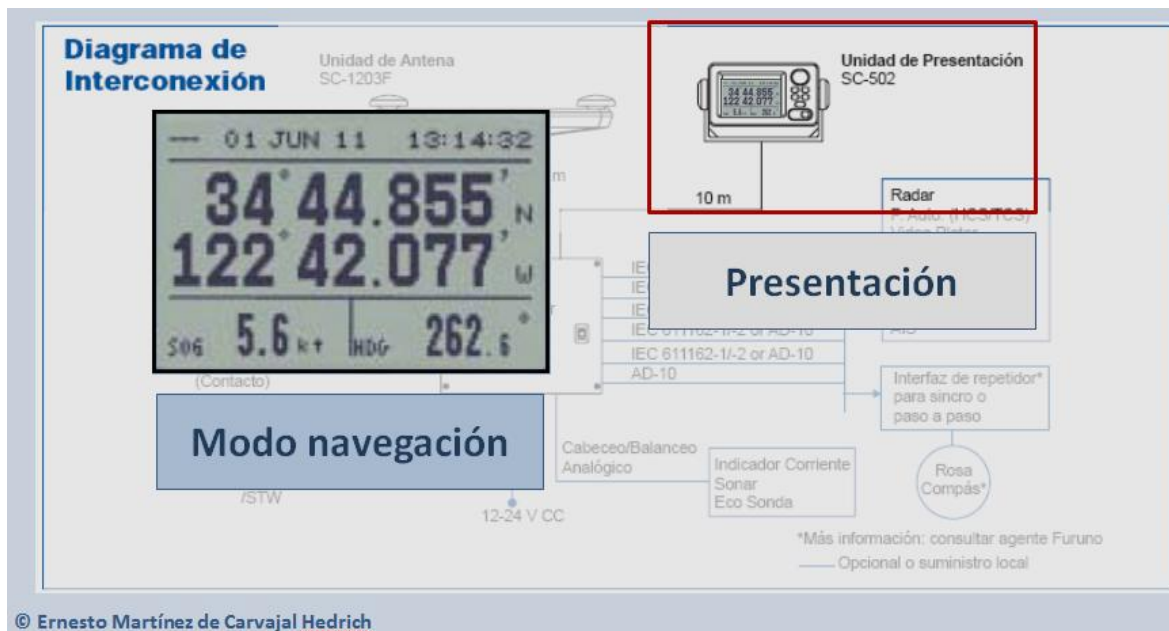
Dada la gran variedad de datos disponibles, podemos verla agrupada según diferentes modos de presentación.



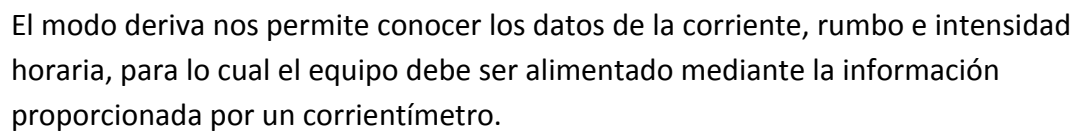
En el modo gobierno se presenta el rumbo en forma numérica y analógica. También se indican SOG (velocidad con relación al fondo) y COG (rumbo con relación al fondo).

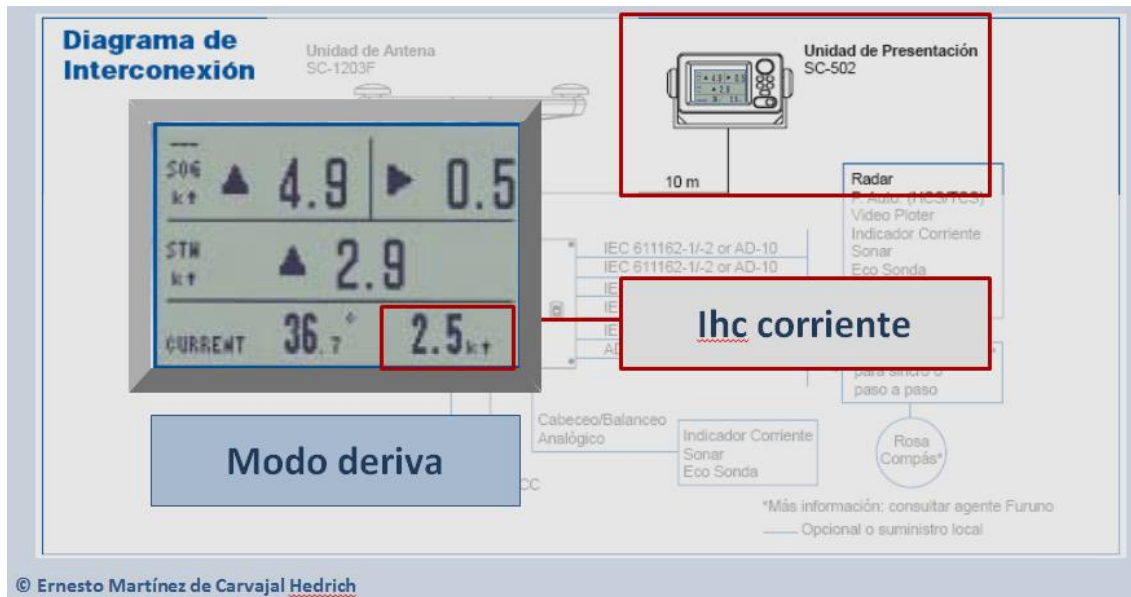


En el modo de navegación se presenta la posición (en latitud y longitud), el rumbo, la velocidad, la fecha, la hora y el estado de determinación de la posición:

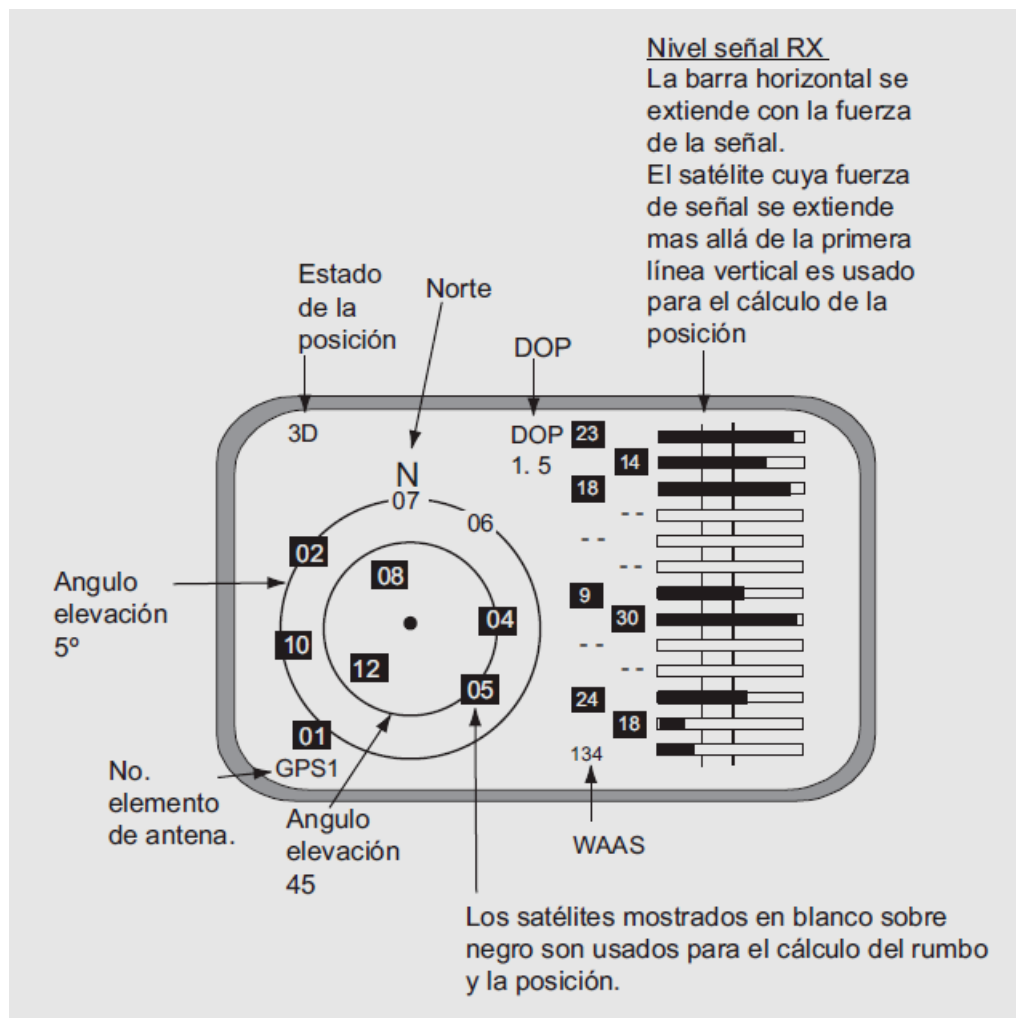


El modo rotación nos permite conocer la dirección y velocidad con la que el buque rota sobre sí mismo.



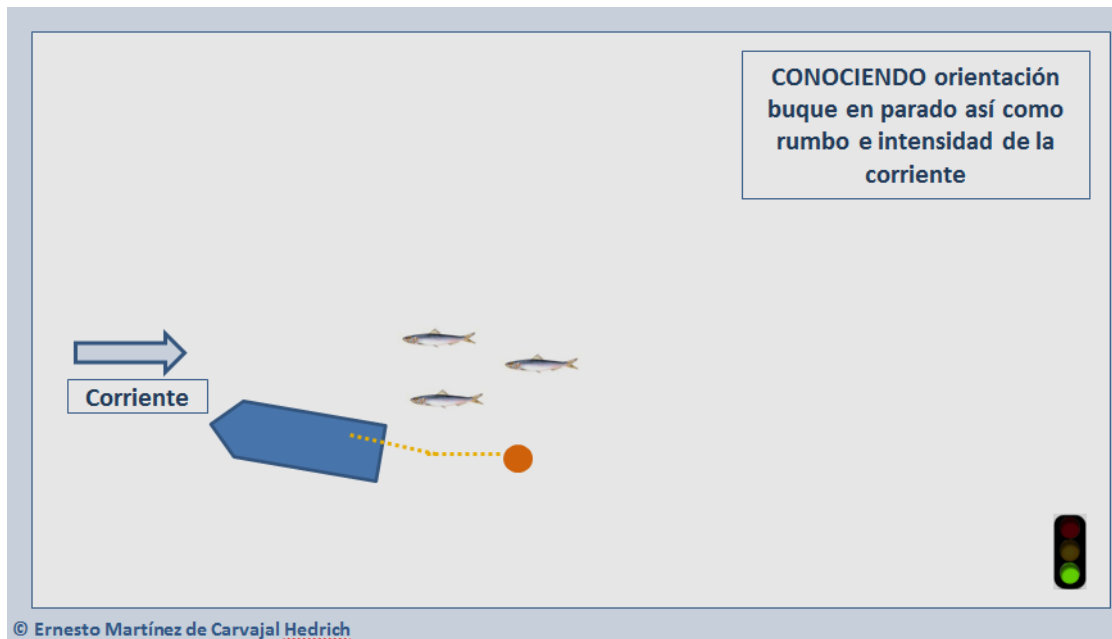


Así mismo dispone de otras pantallas en las que podemos comprobar el estado del equipo, como por ejemplo la pantalla en la que, al igual que en los GPS, nos muestra el estado de la recepción de las señales de los satélites:

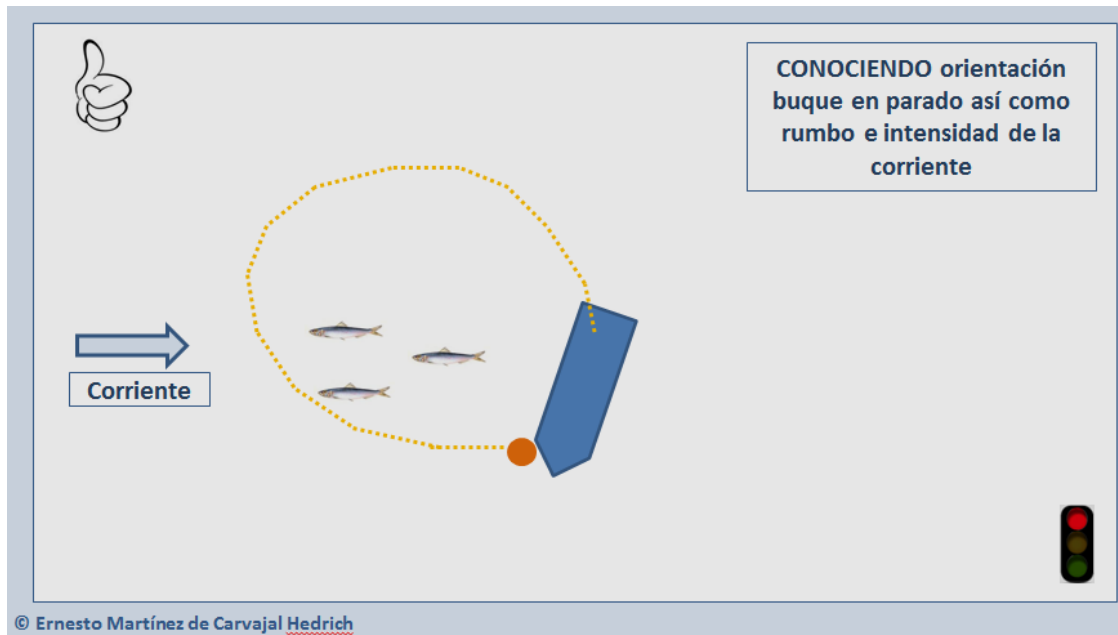


Como ya vimos al hablar de las carencias del GPS, el compás satelitario aporta información real de la orientación del buque incluso cuando está parado, algo que no es de excesivo interés en muchos buques mercantes, pero que sí lo es en buques específicos tales como, por ejemplo, pesqueros, remolcadores o de suministro.

En el caso concreto de los pesqueros, gracias a la información proporcionada por el corrientímetro y el compás satelitario podemos iniciar el lance en la dirección correcta, es decir, contracorriente, para que al completar el cerco el banco de peces se encuentre con la parte cerrada del arte en su dirección de avance (contra corriente).



Y el resultado será bastante más satisfactorio:



Ya solo falta cerrar el arte virando la jareta y embarcar el pescado mediante el salabar.

Otro problema típico de los buques pesqueros es que tanto las sondas como los sónares se ven afectados cuando se trabaja en condiciones de mar gruesa, lo que provoca que las sondas cambien constantemente la profundidad de un banco de peces o que el sonar pierda el banco de peces sobre el que se había dirigido el foco.



La mayoría de compases satelitarios son capaces de transmitir a estos equipos los valores de corrección necesarios para compensar los movimientos verticales del buque cuando trabaja en condiciones de mar gruesa, haciendo que la sonda ofrezca profundidades respecto de la altura media de las olas y que la sonda sea capaz de ajustar su ángulo de trabajo de forma automática.

El compás satelitario puede ofrecer a los demás equipos la siguiente información:

HDT: Rumbo verdadero (requerido para radar, AIS, ECDIS, etc.)
 HDM: Rumbo magnético (obtenido de HDT más la variación magnética).
 ROT: Datos de la relación de virada.
 ATT: Rumbo verdadero, cabeceo, balanceo (sentencia exclusiva de Furuno)
 VDR: Dirección y velocidad de la corriente
 VTG: Rumbo y velocidad sobre el fondo
 GGA: Datos de posición del sistema de posicionamiento global (GPS)
 GNS: Datos GNSS
 GLL: Posición en latitud y longitud
 VHW: Velocidad con relación al agua y rumbo
 VBW: Velocidad con relación al agua/con relación al fondo
 HVE: Amplitud arriba-abajo del movimiento de la antena GPS
 ZDA: Hora y fecha

Además de sus ventajas tecnológicas hay otro factor de suma importancia a considerar. Teniendo en cuenta que en muchos buques mercantes se utiliza el girocompás como elemento fundamental para conocer el rumbo real, hemos considerado interesante comparar los costes entre estos dos equipos:

	Giro Simrad GC80	Furuno SC-110
Coste equipo	14.477	4.000
Instalación	4.000	1.000
Mant. anual	2.000	0

© Ernesto Martínez de Carvajal Hedrich

Además del desembolso económico, tanto para su compra como para su instalación y mantenimiento periódico, se ha de tener en cuenta otros factores, como por ejemplo el consumo de ambos equipos, siendo de 70 watios en el caso del girocompás, frente a los 15 del compás satelitario. Esto supone que el girocompás, que es relativamente voluminoso, debe instalarse en un lugar suficientemente ventilado para poder disipar el calor que genera.

	Giro <u>Simrad</u> GC80	Furuno <u>SC-110</u>
Coste equipo	14.477	4.000
Instalación	4.000	1.000
Mant. anual	2.000	0
Consumo	140-70 W	15 W

© Ernesto Martínez de Carvajal Hedrich

Además, debido a su elevado tiempo de puesta en marcha no se suele apagar en las estancias en puerto, máxime en la actualidad ya que las estancias se reducen al mínimo posible, fieles a la filosofía de que el buque en puerto no genera beneficios.

4.- Construcción de un prototipo de bajo coste

Volvamos un momento sobre el funcionamiento del GPS. Según comentábamos en el apartado correspondiente, este equipo es incapaz de medir rumbos de forma directa como lo hace, por ejemplo un compás flugate y, en su lugar, lo que hace es determinarlo en base a dos situaciones consecutivas de un buque.

Dada la cantidad de cálculos que es capaz de hacer por segundo, es evidente que estas dos posiciones consecutivas pueden ser muy próximas cuando la velocidad del buque es baja.

Supongamos un buque navegando 2 nudos, o su equivalente en metros por segundo, que sería de 1 m/s. Suponiendo que el GPS es capaz de darnos correctamente el rumbo en un segundo, significa que es capaz de discriminar las mínimas diferencias que habrá en las coordenadas de dos puntos separados un metro.

Bien, pues la propuesta del prototipo de Compás Satelitario se basa precisamente en que bastarían dos GPS alienados en la línea de crujía separados uno de otro un metro.

Leyendo simultáneamente los valores de ambos GPS podemos determinar mediante una estima inversa qué rumbo se ha de seguir para ir desde el GPS de popa al de proa, rumbo que corresponde con la orientación del buque, esté parado o no.

Veamos un caso práctico.

Suponiendo que la lectura de los dos GPS fuese:

	Latitud	longitud
GPS proa	41,00000636° N	2,000008432° E
GPS popa	41° N	2° E

Determinamos las diferencias de latitud y longitud:

	Latitud	Longitud
Diferencias	+ 0,00000636°	+0,000008432°

Seguidamente, siendo puristas, calculamos la latitud media para obtener el apartamiento:

Latitud media	41,00000318°
Apartamient (Dif Lon*coslm)	0,00000636344°

Y, finalmente, calculamos el rumbo para ir del GPS de popa al de proa:

Tang R = sen/cos = Apart/Diflat	=0,00000636344°/+ 0,00000636°=
Inversa arco tangente	= 45°

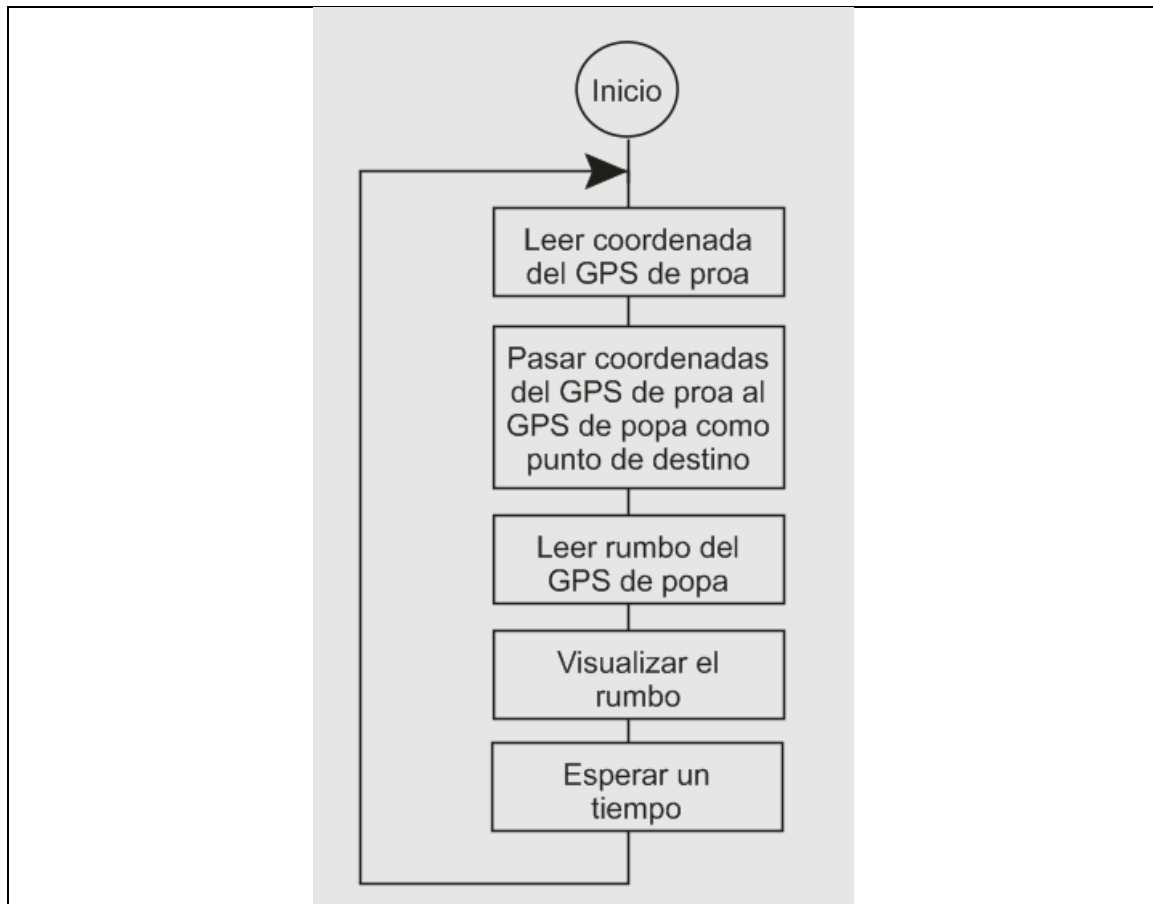
Seguramente habría quien podría considerar poco ortodoxo utilizar el método loxodrómico para calcular el rumbo, pero teniendo en cuenta que la distancia entre los dos puntos es de 1 metro, es evidente que es perfectamente factible utilizar este método, incluso en el caso de situar ambos receptores GPS en los extremos longitudinales del buque a una distancia, siendo generosos, de 450 metros, que es la eslora del superpetrolero Knock Nevis.

Rizando un poco el rizo, aún podemos exprimir algo más las propias prestaciones que nos ofrecen los microprocesadores que contienen todos los equipos GPS para simplificarlos el trabajo.


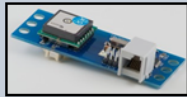

Entre las típicas funcionalidades del cualquier GPS está, como no podía ser menos, la de darnos el rumbo a seguir para ir desde la situación actual a la de destino. En otras palabras, si al GPS de popa le pedimos que nos lleve a la posición correspondiente al GPS de proa, tendríamos un rumbo que sería la orientación real del buque:



Así pues, una forma de simplificar nuestro prototipo es precisamente la expuesta, por lo que el algoritmo se reduce a darle al GPS de popa el punto de destino que corresponde al GPS de proa, tras lo cual solo resta leer el rumbo calculado por el propio GPS de popa.



Teniendo en cuenta este enfoque, estos son los elementos que vamos a necesitar para construir nuestro prototipo:

CPU (LEGO)		190 e
Sensores GPS (Dexter)		2x90 e
Piezas varias (LEGO)		50 e

© Ernesto Martínez de Carvajal Hedrich

Veamos en detalles cada uno de estos elementos

4.1.- CPU de LEGO

Para el desarrollo del prototipo utilizaremos diferentes componentes del sistema LEGO MindStorm, tanto por su bajo coste como por su versatilidad. LEGO MindStorm es una plataforma para el aprendizaje de robótica y montaje de robots totalmente funcionales con los que anteriormente ya había diseñado elementos tales como un radar o un vehículo capaz de desplazarse en un rumbo determinado.

El corazón de este sistema es el denominado “ladrillo”, que constituye la unidad central de proceso, dotada de cuatro entradas para diferentes tipos de sensores, tres salidas para diferentes actuadores y un puerto USB para conectarse a un ordenador al objeto, fundamentalmente, de cargarle el programa correspondiente.



En la parte frontal dispone de una pequeña pantalla LCD de 100 x 64 píxels, así como de cuatro botones que pueden utilizarse para el control de la propia CPU (por ejemplo navegar entre carpetas y ficheros, ejecutar y parar los programas) así como en los programas como entradas. Internamente funciona con un microprocesador ARM7 de 32-bits.

ARM es una arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer, Computación de Juego de Instrucciones Reducidas) de 32 bits desarrollada por ARM Holdings. Fue llamado Advanced RISC Machine, y anteriormente Acorn RISC Machine. La arquitectura ARM es el conjunto de instrucciones de 32 bits más ampliamente utilizado en unidades producidas. Originalmente concebida por Acorn Computers para su uso en ordenadores personales, los primeros productos basados en ARM eran los Acorn Archimedes, lanzados en 1987.

La relativa simplicidad de los procesadores ARM los hace ideales para aplicaciones de baja potencia. Como resultado, se han convertido en el procesador dominante en el mercado de la electrónica móvil e integrada, encarnados en microprocesadores y microcontroladores pequeños, de bajo consumo y relativamente bajo coste. En 2005, alrededor del 98% de los más de mil millones de teléfonos móviles vendidos cada año

utilizan al menos un procesador ARM. Desde 2009, los procesadores ARM son aproximadamente el 90% de todos los procesadores RISC de 32 bits empujados y se utilizan ampliamente en la electrónica de consumo, incluyendo PDAs, tabletas, teléfonos móviles, videoconsolas de mano, calculadoras, reproductores digitales de música y medios (fotos, vídeos, etc.), y periféricos de ordenador como discos duros y routers.

Adicionalmente el ladrillo de LEGO está dotado con 256 Kbytes de memoria FLASH y 64 Kbytes de memoria RAM, suficientes para almacenar un programa complejo.

Su coste es de unos 190 euros. Sin duda sería posible encontrar un procesador programable de menor coste, pero hemos preferido utilizar este por lo mucho que facilita la conexión de los componentes, así como la sencillez con la que se desarrollan los programas.

4.2.- Sensores dGPS de Dexter Industries

Para los sensores y actuadores hay dos posibilidades, utilizar directamente los que proporciona Lego Mindstorms u otra empresa que construya sensores adaptados al bloque NXT como puede ser HiTechnic. Pero también se puede utilizar sensores no adaptados (o externos) los cuales también funcionan con el bloque NXT siempre y cuando se implementen adecuadamente.

LEGO no dispone entre sus sensores de un GPS, pero por suerte hemos encontrado una empresa, Dexter Technologies, cuya actividad se centra exclusivamente en el diseño y fabricación de sensores compatibles con LEGO MINDSTORMS NXT y, entre los sensores que ofrecen tienen uno que es un GPS diferencial. Considero que, dado que el prototipo que vamos a diseñar sólo va a proporcionarnos el rumbo (y no la posición), no es necesaria la precisión aportada por un GPS diferencial siempre y cuando el posible error de posición del GPS no diferencial de popa sea el mismo que el de proa, lo cual queda garantizado por el propio fundamento del GPS diferencial:

El fundamento del GPS diferencial radica en el hecho de que los errores producidos por el sistema GPS afectan por igual (o de forma muy similar) a los receptores situados próximos entre sí. Los errores están fuertemente correlacionados en los receptores próximos.

Al ser el único disponible, con un coste de 90 dólares (que por alguna extraña razón se vende en Europa al mismo precio en euros), nos tocará desembolsar 180 euros por una pareja y, lo que es peor, vérnoslas con Aduanas, últimamente muy ávida de tasas y recargos, por lo que el coste final puede duplicarse.



Según la información aportada por el propio fabricante “El GPS de Dexter Industries GPS es una unidad GPS fabricada para ser utilizada con LEGO® MINDSTORMS® NXT. El sensor determina la posición y calcula datos de navegación. Ofrece por lo tanto la latitud, la longitud, la hora, la velocidad y el rumbo seguido, así como información sobre la distancia y el rumbo para llegar a una situación determinada.”

El sensor GPS se conecta a cualquiera de las cuatro entradas disponibles en el ladrillo NXT, mediante un cable dotado en sus extremos de conectores RJ (los típicos de un teléfono fijo).



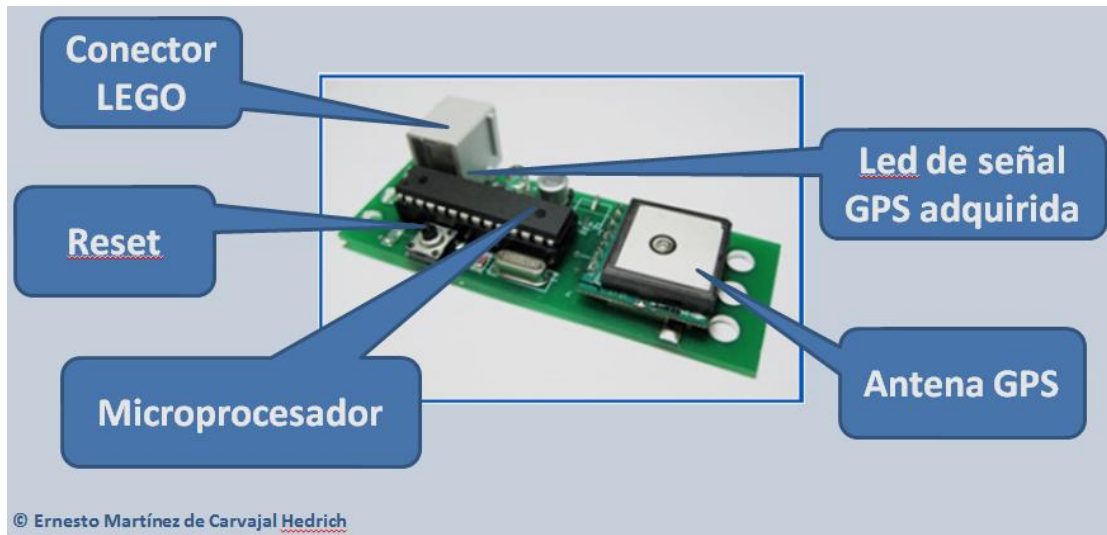
Los datos de salida que ofrece el sensor GPS son:

- Fecha y hora UTC
- Latitud
- Longitud
- Velocidad en cm/s
- El rumbo (en grados)

Así pues, por el mismo coste podríamos leer además la velocidad, convertirla a nudos y visualizarla.

Por otro lado, le podemos pasar al GPS la latitud y longitud de destino (o de punto de paso), en cuyo caso el GPS calcula la distancia y el rumbo que se debe seguir para ir hasta él, información que podemos leer.

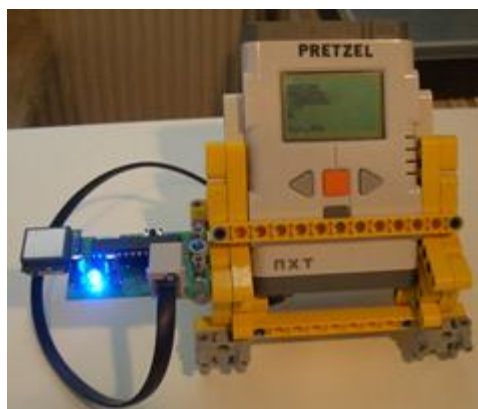
Estas son las partes del sensor GPS de Dexter Industries:



El sensor GPS se conecta al ladrillo LEGO a través de cualquiera de los cuatro puertos disponibles para sensores. A partir de ese momento se activa la unidad e inicia la búsqueda de señales GPS procedentes de los satélites. Dependiendo de donde se encuentre y del horizonte visible la unidad puede tardar más o menos tiempo. El tiempo total de adquisición de datos depende mucho de la ubicación de la unidad y de la disposición de los satélites visibles. En un lugar despejado y sin obstáculos el tiempo total puede ser de medio minuto. Una vez completado este proceso la unidad ya es capaz de darnos las coordenadas y se enciende el led azul. En caso de pérdida de la señal se apaga el led, si bien la unidad mantiene la última posición calculada.

Si se desconecta la unidad del ladrillo NXT, se apaga la unidad y pierde todos sus datos.

En la siguiente imagen podemos ver una propuesta de montaje, así como la pantalla del bloque LEGO mostrando los datos proporcionados por el sensor GPS:

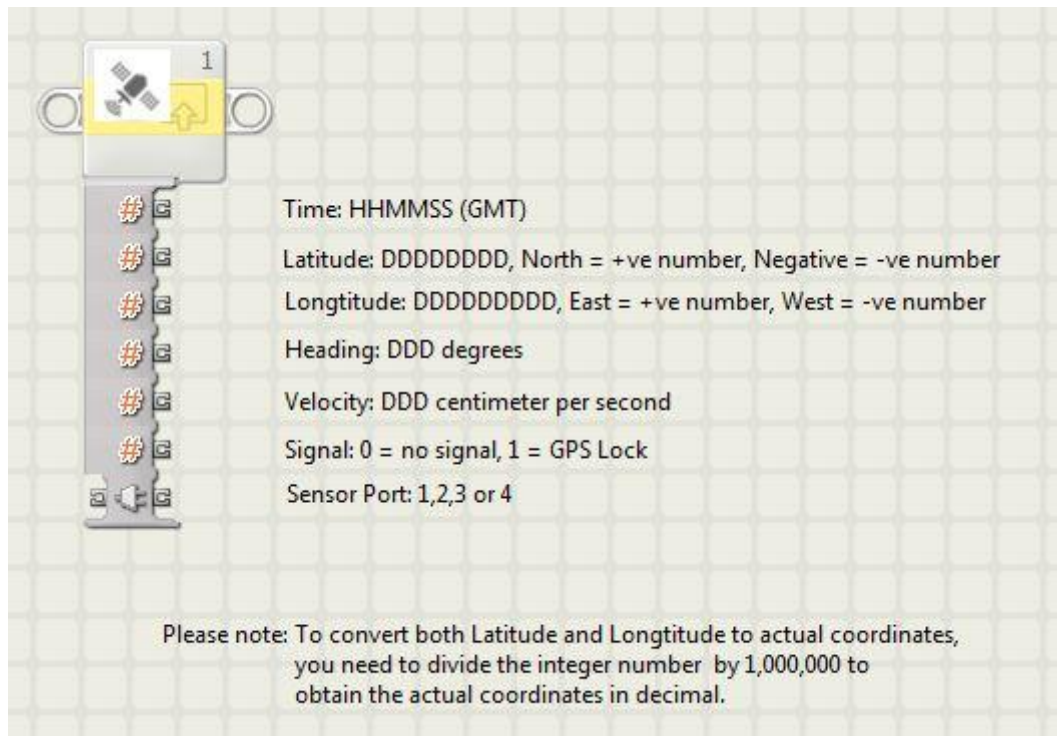


También se puede observar el cable de conexión. La luz azul indica que está recibiendo correctamente la señal GPS.

Para poder utilizar el entorno de programación gráfico proporcionado por LEGO, necesitamos descargarnos los “módulos” de la página web del fabricante.

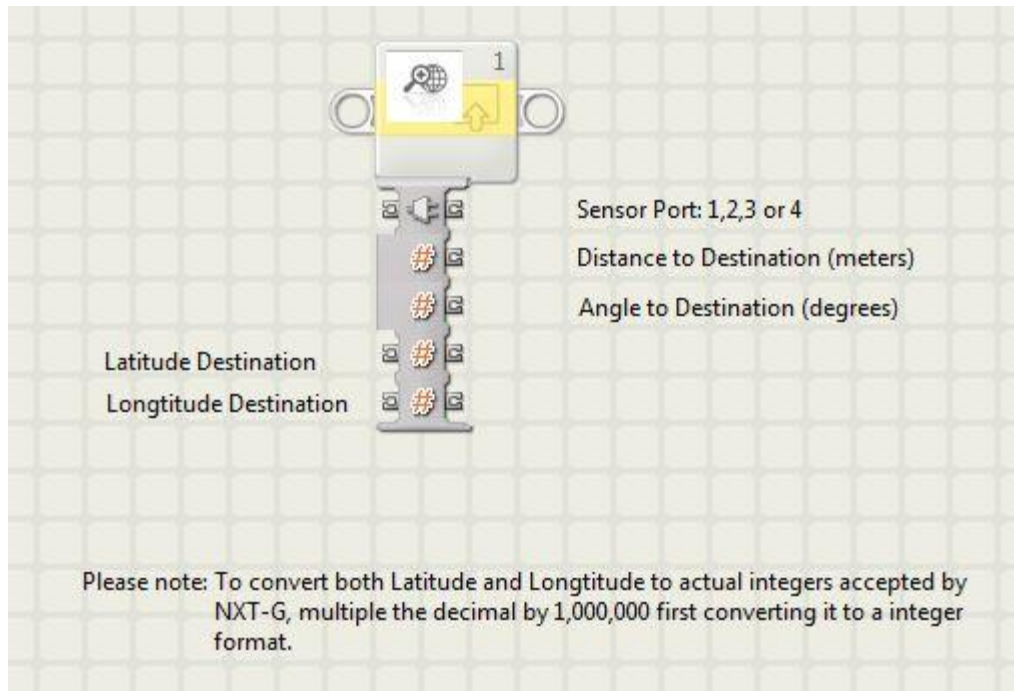
Una vez hemos descargado los módulos de control, debemos importarles en el software de LEGO Mindstorms NXT y a partir de ese momento podemos incluirlos en nuestro programa como uno más de los sensores.

Estas son las “conexiones” disponibles cuando se utiliza el módulo para leer los datos relativos a la posición actual:



El número que aparece en la parte superior derecha corresponde a la puerta del bloque NXT al que hemos conectado el sensor.

Mientras que estas son las “conexiones” disponibles para saber la distancia y rumbo a seguir para ir a un determinado destino:



A partir de junio de 2012, este sensor dispondrá de un nuevo firmware con funcionalidades añadidas:

- Altitud
- Grado de precisión
- Número de satélites visibles

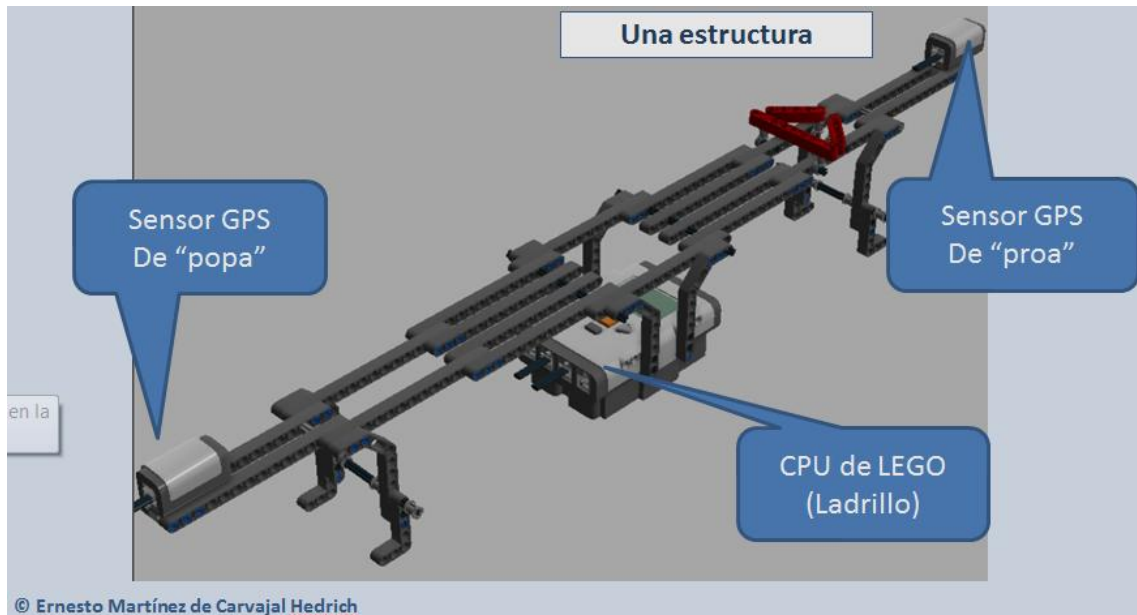
Para nuestro prototipo no necesitamos estas nuevas funcionalidades.

Según el fabricante, la precisión de este sensor es de 3 metros. En cualquier caso este no es un tema relevante para nuestro propósito, siempre y cuando los dos sensores sean capaces de darnos el mismo valor cuando los pongamos juntos. En caso negativo, simplemente deberemos tener en cuenta la diferencia para corregir los valores de uno de ellos.

4.3.- Piezas varias de LEGO

De hecho no necesitamos necesariamente una estructura para el prototipo, ya que podemos disponer los sensores GPS en dos soportes y conectarlos al ladrillo, pero obviamente es más estético hacer algún tipo de estructura que, incluso, puede ser relativamente parecida a uno de los compases satelitarios disponibles en el mercado.

En nuestro caso hemos pensado al algo de este estilo:



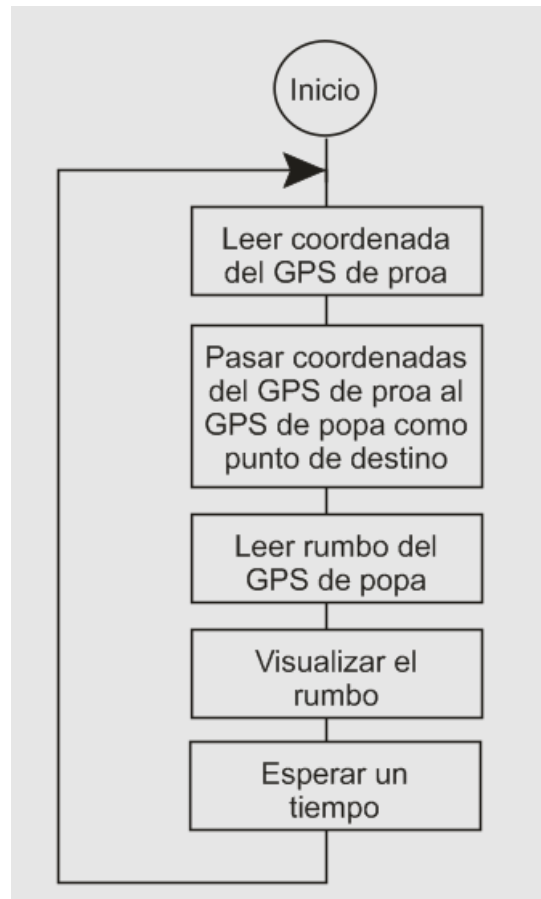
No obstante, es evidente que esta no es una cuestión importante y, por lo tanto, no haremos demasiada incidencia.

4.4.- El programa

Para el software existe la opción de utilizar el programa de desarrollo que proporciona Lego con la plataforma Lego Mindstorms NXT, fabricado por LabVIEW. Este programa permite "escribir" nuestro programa en un cómodo e intuitivo entorno gráfico (LabView lo bautizó como lenguaje G en referencia a "Gráfico"), si bien son compilados cuando se procede a cargarlos en el ladrillo.

Además del propio programa de desarrollo, necesitamos los módulos de software que nos permitan gestionar los sensores GPS, los cuales se pueden descargar de la página web de Dexter Industries.

Como ya vimos el algoritmo que vamos a plantear es el que nos evita realizar ningún tipo de cálculo, pasando al GPS de popa la posición del GPS de proa como destino y pedirle seguidamente al GPS de popa cuál es el rumbo a seguir:



El primer paso antes de escribir el programa será convertir el algoritmo en pseudocódigo, es decir, en un conjunto de instrucciones escrito en un lenguaje más o menos cercano:

Pseudocódigo:

Hasta que se pare el programa

Leer posición GPS de proa

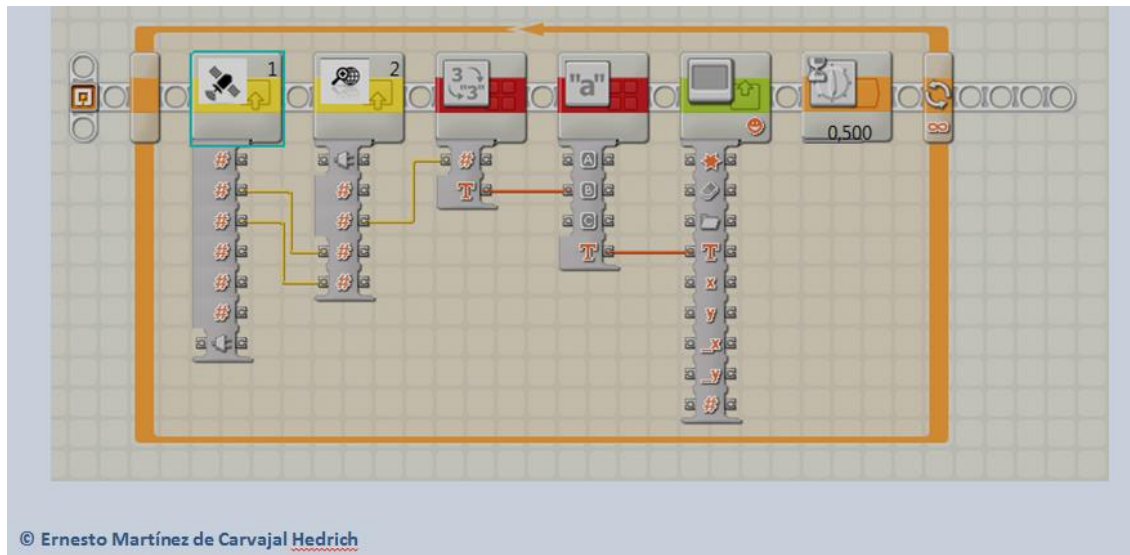
Pasar posición GPS proa a destino GPS popa

Leer rumbo a seguir

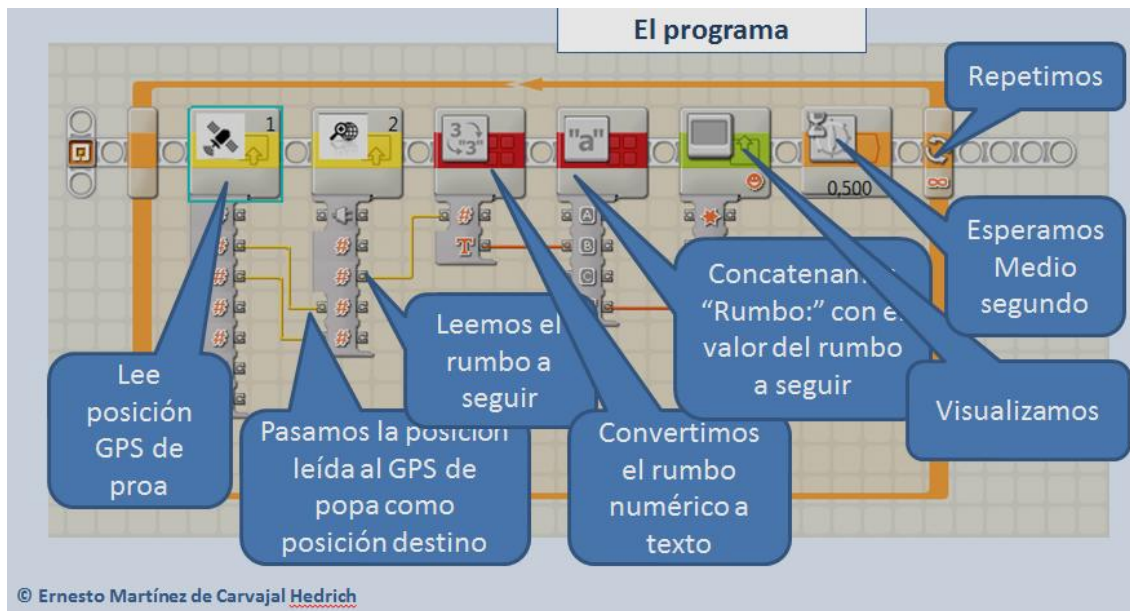
Visualizar “Rumbo:” + el rumbo a seguir

Repetir

Seguidamente entramos en el entorno de desarrollo de Lego MindStorms NXT y creamos nuestro programa:



En el siguiente gráfico explicamos cual es la función de cada elemento:



Y con esto hemos completado nuestro prototipo de un compás satelitario simplificado.

Quede claro que este prototipo, en modo alguno pretende emular a sus hermanos mayores ofrecidos por las diferentes marcas comerciales, entre otras cosas porque al no disponer del tercer GPS no es capaz, por ejemplo, de dar información relativa al balance del buque, ni corregir los errores que este movimiento pueda provocar, pero es sin duda una buena forma de hacer más comprensible esta tecnología y, por otro lado, es absolutamente funcional para lograr el objetivo que nos hemos propuestos, que es conocer hacia dónde mira el buque en cualquier situación, incluso parado.

5.- Costes

Nos queda hablar de la cuestión monetaria. Nos ha parecido interesante comparar los costes del compás satelitario con el girocompás, ya que a fin de cuentas, es este último equipo al que más fiabilidad se le otorga en los buques que no disponen de un compás satelitario.

Adicionalmente incluimos en la comparativa el coste de nuestro prototipo ya que, a pesar de que no aporta las mismas funcionalidades que los modelos comerciales, si hace y de forma perfecta lo más fundamental que es darnos la orientación del buque (no el rumbo que sigue) y, adicionalmente podríamos disponer de la velocidad respecto del fondo.

COSTES			
	Giro <u>Simrad GC80</u>	<u>Furuno SC-110</u>	Prototipo
Coste equipo	14.477	4.000	400
Instalación	4.000	1.000	0
<u>Mant. anual</u>	2.000	0	0
Consumo	140-70 W	15 W	1 W

© Ernesto Martínez de Carvajal Hedrich

Es evidente que el girocompás tiene los días contados. En su contra tiene, además de su elevado coste de compra, su elevado coste de mantenimiento y el hecho de que es un equipo con muchos componentes mecánicos y, como tales, sujetos a fallos, así como su elevado consumo y generación de calor.

Por el contrario, el compás satelitario tiene un coste sensiblemente inferior y además está prácticamente libre de mantenimiento. Los problemas que puede presentar son, de hecho, los mismos que un GPS. Su consumo eléctrico es similar a una bombilla actual de bajo consumo.

La inclusión de nuestro humilde prototipo permite evidenciar que a pesar de que el Compás Satelitario es mucho más económico que un girocompás, aún podría ser más barato y su elevado coste, en realidad, obedece a la política habitual de los constructores cuando sacan al mercado equipos dotados de “nueva tecnología”.

Debemos tener en cuenta que en nuestro prototipo hemos utilizado una CPU programable dotada de 4 entradas, 3 salidas, un conector USB y memoria RAM, en definitiva un elemento mucho más caro que un microprocesador específicamente diseñado para hacer la tarea correspondiente al programa que hemos diseñado, por lo que el coste aún podría ser menor y, de hecho, un prototipo funcional pero con los elementos mínimos necesarios tendría un coste en torno a los 250 euros.

6.- Conclusiones

El compás satelitario, en realidad no es si no un conjunto de receptores GPS (o dGPS) trabajando en equipo.

Por lo tanto, no se puede considerar como el fruto de una nueva tecnológica.

Lo que sí es novedoso es la forma en la que se hace uso de dicha tecnología, con la ventaja de que se trata de tecnología muy experimentada, lo que sin duda le sitúa actualmente en la cima de los dispositivos electrónicos indicadores de rumbo.

Como toda “nueva tecnología”, su coste actual es elevado, pero se reducirá drásticamente en pocos años.

Muy probablemente aparecerán equipos de bajo coste para buques en los cuales lo único que se requiere es conocer el rumbo (u orientación) del buque.

Sus grandes ventajas sobre el girocompás, supondrán la desaparición de este equipo cuyos costes no han bajado, máxime en un entorno económico en el que las navieras intentan reducir al máximo los costes, reducción que, por suerte, en este caso no tendría consecuencias negativas.

Dado que para su funcionamiento se requiere alimentación eléctrica, es de esperar que el compás magnético continúe siendo un equipo obligatorio a bordo, al menos como equipo alternativo o de fortuna, ya que en caso de ausencia absoluta de corriente es el único capaz de darnos un rumbo, cuanto menos aproximado.

7 Anexos.

7.1.- Folleto del girocompás GC85 de Simrad

GC80 and GC85 Gyrocompasses

The Simrad Gyro Compasses are the most reliable Gyro Compasses on the market and with no liquids to change every other year like most other gyro compasses, they are virtually maintenance free. A wide range of control units provide complete flexibility of system configuration for new installation and easy retrofit into existing repeater systems. The standard range of interfaces can easily be expanded to provide signals for all vessel applications. The distribution of power and heading signals from the control units enables practical installation and easy retrofit. The unique technology in the GC85 and GC80 gyrocompasses eliminates "practically" the need for annual service. The GC85 and GC80 are fully IMO approved for standard and High Speed Craft (GC85) and can be configured in a dual gyrocompass system. The highest possible accuracy and stability is provided from new technology, by sophisticated and fully sealed sensitive element.

The Simrad GC85 and GC80 gyrocompasses are the ideal solutions for the advanced DP system needed in offshore industry. Shipowners as well as DP system providers all over the world have learned that the Simrad GC series gyrocompass offers the most flexible gyro compass solution on the market. A combination of a Dual- and an Expanded system, consisting of all together three gyro compasses will offer a DP vessel all the heading and control information needed for effective operations under the most harsh conditions. The simple and quick installation and set-up process as well as the fact that no annual service is required makes a Simrad gyro system the best solution for any 24/7 operator. The world wide service and warranty network ensures extra support whenever needed.



► GC80, GC85 and RGC50 Gyrocompasses

GC80 AND GC85 KEY FEATURES

- Unique, new technology, sensitive elements require no annual servicing
- Very low RPM reduces wear and increases lifetime
- Swappable sensitive elements for onboard service
- No oil change and quick installation
- Sealed sensitive element
- High follow-up rate
- Full 2 year warranty
- GC80 approved according to IMO A.424(XI) performance standards for gyro-compasses
- GC85 approved according to IMO A821(19) performance standards for gyro-compasses for high speed craft

Part Number	Description
27101617	GC80 Compact Gyro system
GC80 Exp Sys	GC80 Expanded Gyro System
GC80 Dual Sys	GC80 Dual Gyro System with changeover switch
GC85 Comp Sys	GC85 Compact Gyro System
GC85 Exp Sys	GC85 Expanded Gyro System
27102169	Second GC80 Master Compass and GC80 Sensitive Element
27102177	Second GC85 Master compass including sensitive element

CONTROL UNITS



► Compact ► EXpanded ► Dual



► GC85 Gyrocompass

SIMRAD Professional Series Autopilot, Gyro Compass and Heading Sensor Solutions

► GC80/85 BASIC SYSTEM

▼ HR80 Heading Repeater

▼ AR81 Bearing Repeater

Part Number Description

24005936	AT10 Two way general NMEA 0183 to SimNet converter
27107523	HR80 Heading repeater

Repeater

AR81 BEARING REPEATER

A full range of analog and digital repeaters are available for all vessel applications. Analog, digital and bearing repeaters can be used with all Simrad gyrocompasses. All repeaters are water resistant for external use.

Part Number Description

27101732	AR81 Single scale Bearing Repeater NMEA. To be mounted in BB holder, MB Holder or BH stand. IMO A424. Wheelmark approved for GC80/ 85 gyro systems
----------	--

► AR81 Bearing Repeater

RGC50 Compact Gyrocompass

The small, compact "all in one" RGC50 Gyrocompass is designed for smaller vessels and non-IMO applications.

The RGC50 is a compact gyrocompass, designed to enhance the navigation capabilities on small commercial, fishing vessels, and large pleasure yachts. A gyrocompass eliminates the inconvenience and limitations of magnetic compasses, and provides a variety of electrical outputs to supply accurate and consistent heading information to other navigation equipment. The capabilities and precision of the RGC50 will provide exceptional heading information to the navigation equipment installed on your vessel.

Part Number Description

27102185	RGC50 Gyrocompass for small vessels. Built in timer.
000-10124-001	RGC50 Pack (RGC50, GI51)

► RGC50 Compact Gyrocompass

SIMRAD Professional Series Autopilot, Gyro Compass and Heading Sensor Solutions

68


7.2.- Folleto del compas satelitario SC-110 de Furuno


FURUNO®


Revolucionario sensor de rumbo

COMPAS SATELITARIO

Modelo **SC-110**





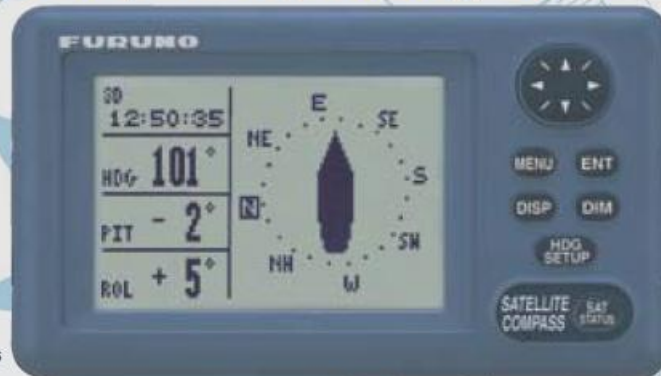


El futuro hoy con la tecnología electrónica de FURUNO.
FURUNO ELECTRIC CO., LTD.
 9-52 Ashinara-cho, Nishinomiya City, Japan Phone: +81 (0)798 65-2111
 Fax: +81 (0)798 65-4200, 66-4622 URL: www.furuno.co.jp

Catálogo No. N-858 ⑤

TRADE MARK REGISTERED
MARCA REGISTRADA

Este moderno compás satelitario proporciona información de rumbo de alta precisión para AIS, ECDIS, Radar y otros.



Modo Rosa de Compás

- Proporciona datos de alta precisión para el piloto automático, radar, AIS, Sonar y sistemas de ploteo
- Aprobado según IMO MSC.116(73) como un THD (Dispositivo Transmisor de Rumbo) con precisión de $\pm 0,6^\circ$
- Relación de seguimiento hasta $45^\circ/\text{s}$, que excede notablemente los requisitos IMO para barcos rápidos ($20^\circ/\text{s}$)
- Datos GPS, WAAS de alta precisión: SOG, COG, ROT, y L/L
- LCD plata brillante de alto contraste, 4,5"
- Datos precisos Cabeceo/Balaneo en formatos analógico y digital para estabilizadores del barco, sonar, etc.
- Salida de datos de rumbo a alta velocidad en formato IEC 61162-1/2 (NMEA0183/HS)
- 100% exento del mantenimiento regular anual
- Exclusivo sistema Tri-Antena que mejora la precisión y reduce los efectos de la guiñada, el cabeceo y el balanceo

Principio de Operación

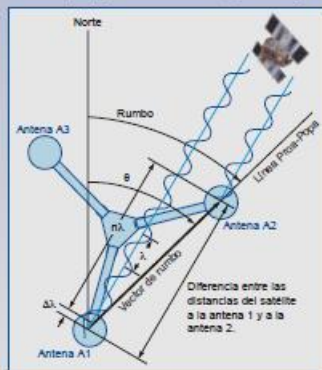
Con el SC-110 el rumbo del barco es determinado decodificando los datos de fase de la frecuencia portadora GPS. En principio, dos antenas A1(ref) y A2 (proa), cada una conectada con un GPS y un procesador, son instaladas en la línea proa-popa del barco. Los sistemas GPS en A1 y A2 calculan las distancias y acimuts al satélite.

La diferencia de distancia entre A1 y A2 es $\Delta\lambda + n\lambda$, donde λ es 19 cm y n es hallado automáticamente durante la etapa de inicialización. Una fracción de longitud de onda portadora, $\Delta\lambda$, es procesada mediante la avanzada tecnología cinemática de Furuno para mediciones geográficas; así se determina el vector (longitud y dirección) A1-A2, esto es, el rumbo del barco con relación al Norte.

En la práctica se añade al sistema una tercera antena para reducir la influencia del cabeceo, del balanceo y de la guiñada y se usan 5 satélites para procesar datos 3D (3º satélite), reducir el error de reloj (4º satélite) y calcular "n" en el paso inicial (5º satélite).

Si la señal GPS es bloqueada por algún obstáculo, los sensores de relación giroscópica de 3 ejes, en el procesador, sustituyen a los satélites hasta que se restauran las señales de éstos. Los sensores de relación contribuyen también, junto con la tercera antena (A3 en la ilustración), a atenuar los efectos del cabeceo, del balanceo y de la guiñada en la determinación del rumbo.

"La ambigüedad "n" es resuelta mediante el algoritmo LAMBDA desarrollado por el Prof. Teussen, de la Universidad Tecnológica de Delft, Holanda.



El SC-110 es un compás satelitario mejorado que utiliza la avanzada tecnología GPS de Furuno. Este compás satelitario puede ser utilizado para una amplia variedad de aplicaciones que requieren señal de rumbo, tales como Radar/ARPA, AIS, ECDIS, Sonar, Sondas, Pilotos Automáticos, etc. El SC-110 utiliza la portadora GPS para determinar el rumbo y su funcionamiento no es afectado por la velocidad del barco, la latitud, el geomagnetismo, etc. El tiempo de respuesta es mínimo y el seguimiento es excelente, hasta 45°/s (SOLAS HSC Code requiere como mínimo 20°/s).

El SC-110 suministra información de posición GPS, SOG (velocidad sobre el fondo), COG (rumbo sobre el fondo) y ROT (relación de giro). La SOG, calculada mediante el desplazamiento Doppler de las señales satelitarias, es notablemente precisa. La información puede ser transferida vía 11 puertos IEC61162. La información de rumbo en formato IEC61162-2, a 38,4 kbps satisface los requisitos de alta velocidad para aplicaciones especiales.

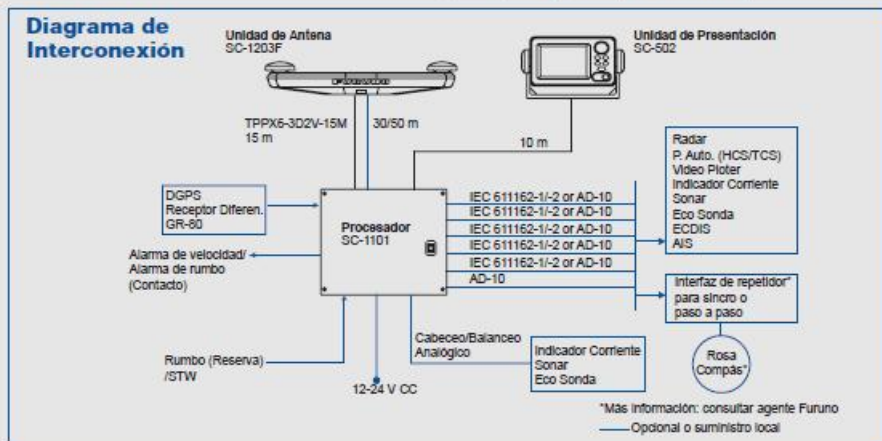
La salida de datos de balanceo y cabeceo se efectúa en formatos analógico y digital. Para sonares y sondas, el SC-110 proporciona imágenes estables, compensando los haces transmisión/recepción en condiciones de mar gruesa. Así, el SC-110 puede funcionar también como un sensor de movimiento altamente preciso.

El SC-110 dispone de un exclusivo modo de Deriva. Conectado a una corredera de seguimiento respecto al agua, como la DS-80, puede calcular la velocidad y dirección de la corriente; esto ayuda al operador de radar a establecer manualmente los valores de deriva para estabilización precisa de las imágenes.

El SC-110 consta de tres antenas GPS en un sólido soporte, un procesador y una unidad de presentación. El sistema tri-antena reduce la influencia de los movimientos del barco más que los sistemas de dos antenas. La ausencia absoluta de partes mecánicas móviles libera SC-110 de la necesidad de un mantenimiento regular o programado.



(Corriente (dirección y velocidad) o Distancia Recorrida.) seleccionable



ESPECIFICACIONES DEL SC-110

1. Precisión
Rumbo: $\pm 0,6^\circ$ (precisión estática 95 %)
(IMO THD MSC.118(73) precisión estática: $\pm 1,0^\circ \times \secant Lat.$)
GPS: 10 m (95 %)
DGPS: 5 m (95 %)

2. Seguimiento
Relación de giro $45^\circ/s$

3. Respuesta
4 minutos

4. Interfaz
Número de puertos
10 puertos*

5 puertos en AD-10 ó
10 puertos en IEC 61162-1/-2
* Selección por menú

1 puerto
Solo AD-10

Sentencia de datos serie
Relación 25, 100, 200 ms, 1, 2 s:

Relación 1, 2 s:

HDT, HDM (Rumbo), ROT (Relación de giro), ATT (Cabeceo y Balanceo)
VHW (Rumbo), VTG, VBW (SOG),
GGA, GLL, GNS (L/L), ZDA (UTC),
VDR (Deriva)

Salida Corredera
1 puerto: 200/400 p/mn (contacto)

Salida de Alarma
1 puerto: contacto

Entrada de Rumbo
1 puerto: Reserva
(AD-10/IEC 61162-1)
HDT, HDG, HDM, VBW, VHW, VLW

Entrada DGPS
1 puerto: Formato RTCM SC-104

5. Tipo de Receptor
12 canales discretos
código C/A

6. Frec. Receptor
L1 (1575,42 MHz)

7. Presentación
LCD monocroma, 4,5" diagonal
95 x 60 mm, 120 x 64 píxeles

8. Modo Presentación
Gobierno, Datos Nav, Rosa Compás,
ROT, Rumbo y Deriva

ALIMENTACION
12-24 V CC, 15 W

CONDICIONES AMBIENTALES
IEC 60945 para EMC, Vibración, Temperatura

ALCANCE DEL SUMINISTRO

Estándar

1. Unidad de Presentación SC-502	1 unidad
2. Unidad de Antena SC-1203F con 15 m de cable	1 unidad
3. Procesador SC-1101	1 unidad

Opcionales

1. Cable de antena: 30 m CP20-01700, 50 m CP20-01710	
2. Kit para montaje empotrado tipo S CP20-17, tipo F CP20-29	

Unidad de Presentación
0,55 kg 1,2 lb

Kit tipo F

Kit tipo S

Procesador
4,2 kg 9,3 lb

Unidad de Antena
6,8 kg 15,0 lb

ESPECIFICACIONES SUJETAS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO

FURUNO U.S.A., INC.
Camas, Washington, U.S.A.
Phone: +1 360-834-9300 Fax: +1 360-834-9400

FURUNO (UK) LIMITED
Denmead, Hampshire, U.K.
Phone: +44 2392-230303 Fax: +44 2392-230101

FURUNO FRANCE S.A.
Bordeaux-Mérignac, France
Phone: +33 5 56 13 48 00 Fax: +33 5 56 13 48 01

FURUNO ESPAÑA S.A.
Madrid, Spain
Phone: +34 91-725-90-88 Fax: +34 91-725-98-07

FURUNO DANMARK AS
Hydovre, Denmark
Phone: +45 36 77 45 00 Fax: +45 36 77 45 01

FURUNO NORGE A/S
Ålesund, Norway
Phone: +47 70 102950 Fax: +47 70 127021

FURUNO SVERIGE AB
Västra Frölunda, Sweden
Phone: +46 31-7098040 Fax: +46 31-497093

FURUNO FINLAND OY
Espoo, Finland
Phone: +358 9 4305 670 Fax: +358 9 4305 6710

04091N Impreso en Japón

8.- Fuentes de información

Artículo “TWO EARLY ARABIC SOURCES ON THE MAGNETIC COMPASS” de Petra G. Schmidl

Journal of Arabic and Islamic Studies (Volume 1). Año 1997. Editado por Joseph Norment Bell y Petr Zemánek

Libro “Navegación deportiva y profesional”. Año 2006. Autor y editor Ernesto Martínez de Carvajal Hedrich

<http://dexterindustries.com/manual/dgps-2/> (27-05-2012)

<http://www.furuno.com/en/index.html> (28-05-2012)

<http://www.simrad.com/> (28-05-2012)

<http://mindstorms.lego.com/en-us/default.aspx?icmp=COUSFR28MINDSTORMS> (28-05-2012)